بسم الله الرحمن الرحيم

﴿سبحانك لاعلم لنا إلا ما علمتنا ، إنك أنت العليم الحكيم﴾

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله ﷺ.

أما بعد ....

يحتوى هذا الكتاب على أحد عشر باباً مختلفاً تتناول موضوع الخرسانة من حيث خواصها واختباراتها وضبط جودتها. والحقيقة أن كثيراً من أساتذة الهندسة قد خاض قبلى الكتابة فى مثل موضوع هذا الكتاب وكان لهم السبق والفضل ، ولكننى ومن خلال قيامى بالتدريس لطلبة كلية الهندسة أردت أن أخرج هذا الكتاب بإسلوب مبسط وميسر بلا إسهاب أو إطناب فى سرد التفصيلات العلمية الدقيقة حتى يشجع طالب الهندسة و مهندس التنفيذ على قراءته كما أردت أيضاً أن أضيف الجديد عن التكنولوجيا الحديثة فى مجال الخرسانة والتى ثبتت صلاحيتها فى جمهورية مصر العربية. وقد آثرت أن تكون لغة الكتاب هى العربية وذلك حتى يكون عوناً لمهندسى التنفيذ والإشراف فى منطقتنا العربية. وإننى أتوجه بخالص الشكر إلى أساتذتى الكرام وإلى كل من ساهم وعاون فى إتمام هذا العمل. والله أسأل أن يغفر لى ذللى وخطأى وأن ينفع بهذا الكتاب طلابنا ومهندسينا وأن يجعله فى ميزان حسناتى إنه قريب مجيب الدعاء.

والله من وراء القصد

أ.د. / محمود إمام

أستاذ مقاومة المواد - قسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة - جامعة المنصورة

رقم الإيداع بدار الكتب:	٢٨٠٤ / ٢٠٠٢
الرقم الدولى I.S.B.N :	977 - 5069 - 50 - 5

الخرسانة

الخواص - الجودة - الإختبارات

المُحتَوَيات Contents

الباب الأول : الخرسانة

١-١	تعريف	١
١-٢	الخرسانة كمادة إنشائية	١
١-٣	تطور صناعة الخرسانة	٣

الباب الثانى : الإضافات

٢-١	تعريف	٧
٢-٢	الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الإضافات	٨
٢-٣	أهم الأنواع الشائعة من الإضافات	٨
	٢-٣-١ إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك	٩
	- مخفضات الماء (الملدنات)	١٠
	- إضافات تأخير الشك	١٥
	- إضافات تعجيل الشك	١٥
	٢-٣-٢ إضافات الهواء المحبوس	١٧
	٢-٣-٣ إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة	١٨
	٢-٣-٤ إضافات لمنع إجتراف الأسمنت بفعل الماء	١٩
	٢-٣-٥ إضافات تلوين الخرسانة	٢٠
	٢-٣-٦ إضافات أخرى متنوعة	٢١

الباب الثالث : الأنواع الخاصة من الخرسانة

٣-١	الخرسانة العادية	٢٤
٣-٢	الخرسانة المسلحة	٢٤
٣-٣	الخرسانة سابقة الإجهاد	٢٥
٣-٤	الخرسانة الجاهزة	٢٧
٣-٥	الخرسانة عالية المقاومة	٢٩
	٣-٥-١ الخصائص المطلوب توافرها فى المكونات	٢٩
	٣-٥-٢ تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة	٣٠
	٣-٥-٣ الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى مصر	٣٢
	٣-٥-٤ المميزات العامة للخرسانة عالية المقاومة	٣٨
٣-٦	الخرسانة الليفية	٣٩
٣-٧	الخرسانة ذاتية الدمك	٤٢
	٣-٧-١ تعريف	٤٢
	٣-٧-٢ الخواص المطلوبة فى الخرسانة ذاتية الدمك	٤٢
	٣-٧-٣ مميزات الخرسانة ذاتية الدمك	٤٣
	٣-٧-٤ الاختبارات المطلوبة فى الخرسانة ذاتية الدمك	٤٤

٣-٨ الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش) ٤٦
٣-٩ الخرسانة البوليمرية ٤٨
٣-٩-١ الخرسانة البلاستيكية ٤٨
٣-٩-٢ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية ٥٠
٣-٩-٣ الخرسانة الأسمنتية المحقونة بالبوليمرات ٥٠
٣-١٠ الخرسانة الخفيفة ٥٢
٣-١١ الخرسانة الثقيلة ٥٥
٣-١٢ الخرسانة الكتلية ٥٦

الباب الرابع : صناعة الخرسانة

٤-١ مرحلة الإعداد (قبل الصب) ٥٧
٤-٢ مرحلة الخرسانة الطازجة (الصب) ٥٩
٤-٣ مرحلة ما بعد الصب ٦٧

الباب الخامس : تصميم الخلطات الخرسانية

٥-١ مقدمة ٧١
٥-٢ كيفية بيان نسب مكونات الخلطة ٧١
٥-٣ العلاقة بين الركام و العجينة الأسمنتية ٧٣
٥-٤ طرق تصميم الخلطات الخرسانية ٧٥
٥-٥ تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة ٨٠
٥-٦ بعض الخلطات الخرسانية ذات المتطلبات الخاصة ٨٥

الباب السادس : ضبط جودة الخرسانة إحصائياً

٦-١ التغير فى مقاومة الخرسانة ٨٩
٦-٢ منحنى التوزيع التكراري ٨٩
٦-٣ المقاومة المتوسطة والمقاومة المميزة ٩١
٦-٣-١ المقاومة المميزة (رتبة الخرسانة) ٩١
٦-٣-٢ متوسط المقاومة المستهدف ٩١
٦-٤ مستويات التحكم فى الجودة ٩٢
٦-٥ الحكم على نتيجة اختبار الخرسانة ٩٣
٦-٦ تطبيـقات ٩٤
٦-٦-١ تصميم الخلطة الخرسانية اللازمة لمشروع جديد ٩٤
٦-٦-٢ تعيين قيمة المقاومة المميزة ٩٤
٦-٦-٣ الحكم على صلاحية خرسانة منشأ ٩٥
٦-٧ التحليل الإحصائي لمجموعة البيانات المفردة ٩٦
٦-٧-١ مقاييس المركزية ٩٦
٦-٧-٢ مقاييس التشتت ٩٧
٦-٧-٣ أشكال التوزيعات التكرارية ٩٨
٦-٨ توزيع البيـانات ١٠٠

الباب السابع : خواص واختبارات الخرسانة الطازجة

٧-١ مقدمة ١٠٧
٧-٢ تحضير عينات اختبارات الخرسانة الطازجة ١٠٨
٧-٣ الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة ١٠٨
٧-٣-١ القوام ١٠٩
٧-٣-٢ القابلية للتشغيل ١١٩
٧-٣-٣ الانفصال الحبيبي ١٢٥
٧-٣-٤ النضح ١٢٦

الباب الثامن : خواص واختبارات الخرسانة المتصلدة

٨-١ مقاومة الضغط ١٢٧
٨-١-١ العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط ١٢٧
٨-١-٢ أشكال الانهيارات المحتملة تحت تأثير حمل الضغط ١٤٣
٨-١-٣ اختبار مقاومة الضغط ١٤٤
٨-٢ مقاومة الشد ١٤٧
٨-٢-١ العلاقة بين مقاومتي الشد والضغط ١٤٧
٨-٢-٢ طرق اختبار مقاومة الشد ١٤٨
٨-٣ مقاومة الانحناء ١٥٢
٨-٤ مقاومة القص ١٥٤
٨-٥ مقاومة التماسك ١٥٦
٨-٦ معاير المرونة ١٦٠
٨-٦-١ تعريف ١٦٠
٨-٦-٢ اختبار معاير المرونة ١٦١
٨-٦-٣ تعيين معاير المرونة فى الانحناء ١٦٣
٨-٦-٤ العوامل التى تؤثر على قيمة معاير المرونة ١٦٤
٨-٦-٥ بعض العلاقات لتعيين معاير المرونة ١٦٤
٨-٦-٦ النسبة المعيارية ١٦٥
٨-٦-٧ نسبة بواسون ١٦٥

الباب التاسع : الاختبارات غير المتلفة للخرسانة

٩-١ الهدف والمجال ١٦٧
٩-٢ مطرقة الارتداد (شميدت) ١٦٨
٩-٣ الموجات فوق الصوتية ١٧٥
٩-٤ اختبار القلب الخرسانى ١٨٨
٩-٥ اختبار التحميل ١٩٤
٩-٦ عدم تحقيق الخرسانة لمتطلبات التصميم ١٩٧
٩-٧ تقارير سلامة وأمان المنشآت ١٩٨

الباب العاشر : الانكماش والزحف

١٠-١ الانكماش ٢٠١
١٠-١-١ تعريف ٢٠١
١٠-١-٢ أسباب حدوث الانكماش ٢٠١
١٠-١-٣ أنواع الانكماش ٢٠١
١٠-١-٤ العوامل التى تؤثر على انكماش الجفاف ٢٠٤
١٠-١-٥ اختبار التغير الحجمى للخرسانة بالجفاف والرطوبة ٢٠٦
١٠-٢ الزحف ٢٠٨
١٠-٢-١ تعريف الزحف ٢٠٨
١٠-٢-٢ حساب قيمة الزحف ٢١٠
١٠-٢-٣ تأثير الزحف ٢١١

الباب الحادي عشر : متانة الخرسانة (المُعَمِرية)

١١-١ تعريف ٢١٣
١١-٢ أسباب تلف الخرسانة ٢١٣
١١-٣ مقاومة الخرسانة للتلف ٢١٤
١١-٤ المسامية و المنفذية و الامتصاص ٢١٤
١١-٥ صدأ الحديد ٢٢٠
١١-٦ المقاومة لتأثير الكيماويات ٢٢٦
١١-٧ الخواص الحرارية للخرسانة ٢٢٨
١١-٨ المقاومة للحريق ٢٣٢
١١-٩ تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن ٢٣٣

المراجع ٢٣٩

المحتويات ٢٤٣

****

الباب الأول

الخرسانة Concrete

١-١ تعريف

"الخرسانة هى بنيان Structure يتركب من عدة مواد Materials والجزء الأكبر فى هذا البنيان هو الركام الذى يتماسك مع بعضه فى صورة شبيهة بالكتلة الحجرية وذلك بفعل العجينة الأسمنتية المغلفة للركام والتى تتصلد نتيجة التفاعل الكيمائى بين الأسمنت والماء"

ونسب توزيع المواد المختلفة المكونة للخرسانة (بالحجم) فى أغلب الأحوال هى:

ركام (كبير وصغير)	عجينة الأسمنت	فراغات
٦٠ - ٧٠ %	٣٠ - ٤٠ %	١ - ٢ %

ويتضح من ذلك أن الركام هو المكون الأساسى لجسم الخرسانة حيث يحتل حوالى من ٣/٢ الى ٤/٣ حجم الخرسانة. والركام يعتبر مادة رخيصة نسبياً بالإضافة إلى أنه يعمل على تقليل التغير الحجمى للخرسانة الناتج من عمليتى الشك والتصلد ومن تغير الرطوبة فى عجينة الأسمنت. أما عجينة الأسمنت فتقوم بوظيفة فعالة وذلك بإيجاد التماسك بين الركام وإعطاء الخرسانة المقاومة المطلوبة وملء الفراغات بين حبيبات الركام وتسهيل إنزلاق الركام أثناء الصب.

١-٢ الخرسانة كمادة إنشائية

الخرسانة فى حالتها المتصلدة تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط أما فى حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التى تسمح بتشكلها فى أى قالب معمارى مطلوب. وتعتبر الخرسانة مع الصلب أكثر المواد الإنشائية شيوعاً وإستعمالاً فى عصرنا الحديث وذلك لسهولة تواجدها والرخص النسبى للمواد المكونة لها وأيضا لسهولة ورخص تصنيعها. ويمكن إستعمال الخرسانة بالإشتراك مع مواد أخرى لتكوين قطاعات مركبة Composite Sections كما فى حالة إستخدام قطاعات الصلب مع الخرسانة أو لتكوين مواد مركبة Composite Materials كما فى حالة إضافة أنواع معينة من الألياف الى الخرسانة أثناء خلطها لتحسين بعض الخصائص المرغوبة. وتعتبر الخرسانة مع حديد التسليح مادتين متكاملتين من حيث الخواص ويتضح ذلك فى شكل (١-١).

	خرسانة	حديد
مقاومة الشد		
مقاومة الضغط		
مقاومة القص		
المعمرية		
مقاومة الحريق		

الخاصية	الخرسانة	حديد التسليح
مقاومة الشد	ضعيف جداً	جيد جداً
مقاومة الضغط	جيد	جيد ولكن يحدث إنبعاج للقطاعات النحيفة
مقاومة القص	متوسط	جيد
المعمرية	جيد جداً	ضعيف ويتآكل إذا كان غير محمى
مقاومة الحريق	جيد	ضعيف ويفقد مقاومته سريعاً فى درجات الحرارة العالية

شكل (١-١) تكامل الخواص فى الخرسانة وحديد التسليح.

ومن أهم عيوب الخرسانة أن مقاومتها للشد ضعيفة نسبيا ولهذا فعند إستعمالها فى الأغراض الإنشائية فإنه يتم إستعمالها مع أسياخ الصلب التى تقوم بمقاومة قوى الشد.

ومن عيوب الخرسانة كذلك الحركة الناتجة من الإنكماش بالجفاف أو من الرطوبة والتى تسبب شروخا شعرية دقيقة يلزم لملافاة وجودها وضع حديد التسليح المناسب أو عمل وصلات **Joints** بالخرسانة على مسافات متباعدة.

كما أن الخرسانة ليست مصمتة تماماً وإنما تسمح بنفاذ السوائل والغازات بدرجات متفاوتة تعتمد على جودة الخرسانة ونسبة الفراغات بها. ونفاذ الرطوبة فى الخرسانة المسلحة يعمل على صدأ الحديد وتآكله وأيضا ينتج عنه تبقيع سطح الخرسانة وتلفها.

١-٣ تطور صناعة الخرسانة

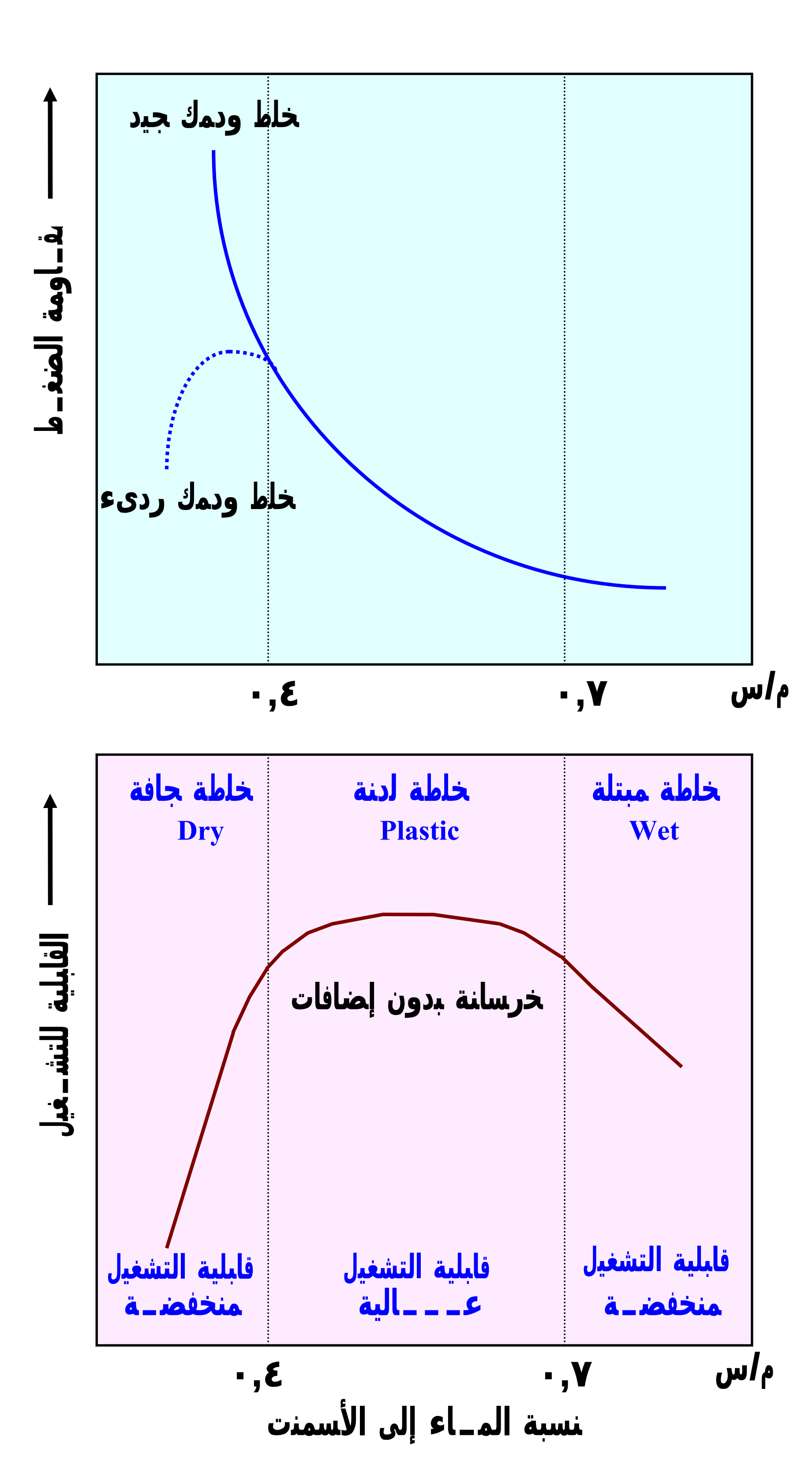
مع بداية القرن العشرين كانت الخرسانة تجاهد لكى تقف بين مواد البناء الأخرى وكانت مقاومة الضغط التى تصل إلى ١٤٠ كج/سم٢ تعتبر قيمة كبيرة ولها إعتبارها. ولم تكن هناك طرق معينة لتصميم خلطة خرسانية ولا أساليب للتصميم المختلفة كذلك لم يكن هناك الأنواع المختلفة من الأسمنت والتى تناسب الأغراض المتنوعة. كما أنه لم يكن هناك الأنواع المختلفة من الخرسانة مثل الخرسانة الخفيفة والخرسانة ذات الهواء المحبوس أو الخرسانة سابقة الصب أو سابقة الإجهاد.

فى سنة ١٩١٩ شهدت صناعة الخرسانة الثورة الأولى حيث إكتشف ابرامز Abrams أن هناك علاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة ونسبة الماء بالخلطة وقد أوضح ابرامز أن مقاومة الضغط تزيد كلما قلت نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) وقد حدد هذه العلاقة كما يلى:

$$f_c = \frac{965.5}{7^{1.5(w/c)}} \qquad kg/cm^2$$

حيث f_c هى مقاومة الضغط للخرسانة كج/سم٢. و (w/c) هى نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن. ويلاحظ أن المعادلة السابقة قد أستنتجت لخرسانة بركام وأسمنت وظروف صناعية معينة وفى حالة إختلاف هذه المواد او هذه الظروف فإن قيمة المقدار الثابت بالمعادلة قد تتغير.

وبدراسة عملية التفاعل الكيميائى بين الأسمنت والماء وجد أن كمية الماء اللازمة لإتمام عملية التفاعل تتراوح من ٠,٢٢ الى ٠,٢٥ من وزن الأسمنت حسب نوع ودرجة نعومة الأسمنت. ولكن المشكلة تبدو أن هذه النسبة القليلة من الماء تعطى خرسانة جافة جداً صعبة التشغيل مما يضطر صانع الخرسانة إلى زيادة الماء بالقدر الذى يعطى خرسانة لدنة ذات قابلية عالية للتشغيل. وقد وضح من التجارب المعملية و الخبرة العملية أن نسبة الماء التى تعطى خلطة خرسانية لدنة ذات قابلية عالية للتشغيل (بدون إستخدام إضافات) هى من ٠,٤ إلى ٠,٧ من وزن الأسمنت ويتوقف ذلك على محتوى الأسمنت فى الخلطة وعلى نسبة إمتصاص الركام المستخدم للماء. وطبقاً للعلاقة بين نسبة الماء إلى الأسمنت ومقاومة الضغط كما هو مبين فى شكل (١-٢) فإن هذه النسبة من الماء تعطى خرسانة متوسطة المقاومة Normal Strength Concrete والحقيقة أن الخرسانة ظلت حتى وقتنا الحالى تنتج بمقاومة متوسطة تتراوح من ٢٠٠ الى ٣٠٠ كج/سم٢ ومعظم التصميمات الإنشائية فى وقتنا الحاضر تتم بإستخدام خرسانة ذات مقاومة ٢٥٠كج/سم٢ أى بإستخدام نسبة (م/س) من ٠,٤ إلى ٠,٧.



شكل (١-٢) العلاقة بين (م/س) وكلٍ من مقاومة الضغط والقابلية للتشغيل.

وعلى أى حال فإن هذه الأيام تشهد بداية ثورة ثانية فى تكنولوجيا الخرسانة حيث أمكن التغلب على التناقض الناشئ بين المقاومة العالية والقابلية المنخفضه للتشغيل وذلك بإنتاج وإستخدام بعض الإضافات المخفضة للماء Superplasticizers والتى تسمح بإستخدام نسبة ماء قليلة جداً قد تصل إلى ٠,٢٥ من وزن الأسمنت وفى نفس الوقت تعطى قابلية عالية للتشغيل وبالتالى الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية جداً قد تصل الى ١٤٠٠ كج/سم^{٢} وقد تم إنتاج هذه الخرسانة العالية المقاومة High Strength Concrete بالفعل فى معامل كلية الهندسة بالمنصورة حيث تم الوصول إلى خرسانة مقاومتها للضغط ١١٠٠ كج/سم^{٢} وذلك بإستخدام المواد المحلية المتاحة فى مصر.

وبالرغم من أن مثل هذه الخرسانة العالية المقاومة لم تأخذ طريقها إلى الواقع العملى فى بلادنا حتى الآن إلا أنها أصبحت شائعة الإستعمال فى دول أوربا وأمريكا واليابان وحتى فى بعض دول العالم الثالث مثل ماليزيا والتى تم فيها حديثاً إنشاء وتشييد أعلى المبانى الإدارية فى العالم [شكل (١-٣)] ويقع فى مدينة كوالا لمبور والذى يصل إرتفاعه الى ٤٥٠ متر وذلك بإستخدام خرسانة ذات مقاومة للضغط مقدارها ٨٠٠ كج/سم^{٢}. وتجدر الإشارة أن هناك بعض المشاريع الإنشائية الكبرى فى مصر قد استخدمت فيها خرسانة ذات مقاومة للضغط من ٥٠٠ إلى ٦٠٠ كج/سم^{٢} ومن هذه المشاريع: مكتبة الأسكندرية - الكوبرى الملجم بمنطقة غمرة بالقاهرة وغيرها. هذا ويتوقف التقدم والتطور فى علم الخرسانة على عدة عوامل من أهمها:

- **إستمرار البحث لتطوير المواد المكونة للخرسانة وتحسين فعاليتها وذلك لزيادة الجودة بتكاليف أقل.**
- **التعاون المستمر بين البحث العلمى والصناعة.**
- **الإعداد الفنى والتدريب المهنى المستمر للعاملين فى مجال الخرسانة.**
- **عمل حلقات دراسية وندوات علمية للوقوف على كل ما هو جديد فى مجال تكنولوجيا الخرسانة.**
- **تطبيق كل ما هو جديد فى مجال الخرسانة بصورة عملية وذلك من خلال منشآت فعلية.**
- **الدراسات الفنية اللازمة لحل مشاكل التصميم والتنفيذ للإستخدامات المتنوعة للخرسانة.**



شكل (١-٣) صورة توضح أعلى برج خرسانى فى العالم ويقع فى مدينة كوالالمبور بماليزيا .

****

الباب الثانى

الإضافات Admixtures

تتركب الخرسانة من الركام والأسمنت وماء الخلط وفى بعض الأحيان تستخدم بعض الإضافات الكيميائية بغرض تحسين بعض الصفات المعينة فى الخرسانة. وفي هذا الباب سنتناول ببعض التفصيل الإضافات الكيميائية من حيث أنواعها ووظائفها وخصائصها وكيفية الإستفادة منها.

٢-١ تعريف

الإضافات هى مواد - غير الركام والأسمنت والماء- تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل:

- تحسين القابلية للتشغيل للخرسانة الطازجة دون زيادة ماء الخلط.
- التعجيل أو التأخير فى الشك.
- تقليل معدل فقد الهبوط للخرسانة.
- تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.
- الحد من حدوث الإنفصال الحبيبى.

- زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
- الحصول على خرسانة عالية المقاومة.
- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى.
- الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة خلوية أو خرسانة ذات صفات خاصة.

٢-٢ الاشتراطات العامة المطلوبة عند إستخدام الإضافات

١- يجب أن لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.

٢- أن تتناسب الفوائد الناتجة من إستخدام الإضافات مع الزيادة فى التكاليف.

٣- يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم أو الإضافات التى أساسها من الكلوريدات بتاتاً إلى الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد أو الخرسانة التى بها معادن مدفونة.

٤- يجب التأكد من مدى ملائمة وفاعلية أى من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.

٥- إذا إستخدم نوعين أو أكثر من الإضافات فى نفس الخلطة الخرسانية فيلزم أن تتواجد معلومات كافية لبيان مدى تداخلهما والتأكد من مدى توافقهما.

٦- يراعى أن سلوك الإضافات مع الأسمنتات المخلوطة أو عالية المقاومة للكبريتات يختلف عنه فى حالة الأسمنت البورتلاندى. لذلك يجب أن تتوافر معلومات كافية عن مدى الأدائية السليمة للإضافات مع الأنواع المختلفة من الأسمنت.

٧- يلزم توريد الإضافات معبأة داخل براميل أو أوعية محكمة الغلق ومطبوع عليها الإسم التجارى وتاريخ الإنتاج ومدة الصلاحية وكذلك شهادة بخواص الإضافة الموردة ومطابقتها للمواصفات القياسية ذات الصلة. كما يجب تخزين الإضافات بطريقة تحميها من الرطوبة ومن أشعة الشمس والحرارة.

٢-٣ أهم الأنواع الشائعة من الإضافات

يوجد العديد من الإضافات الكيميائية التى تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها إلى المجموعات الآتية:

١- إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك (سبعة أنواع).
٢- إضافات الهواء المحبوس.
٣- إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.
٤- إضافات لمقاومة إجتراف الأسمنت بفعل الماء
٥- إضافات لتلوين الخرسانة.
٦- إضافات أخرى متنوعة.

٢-٣-١ إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك

Water Reducing and Set Controlling Admixtures (ASTM C494)

وهذه الإضافات هى أهم وأكثر أنواع الإضافات إستخداماً وشيوعاً فى مجال الخرسانة وهى تختص بتقليل ماء الخلط (بدرجات متفاوته) والتحكم فى تصلب الخرسانة بالتأخير أو التعجيل. وتنقسم هذه المجموعة إلى سبعة أنواع مختلفة وتميزها المواصفات الأمريكية ASTM C494 بالحروف من A إلى G كما يلى:

١- إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة	ASTM C494 - Type A
٢- إضافات تأخير الشك	ASTM C494 - Type B
٣- إضافات تعجيل الشك	ASTM C494 - Type C
٤- إضافات تخفيض ماء الخلط وتأخير الشك	ASTM C494 - Type D
٥- إضافات تخفيض ماء الخلط وتعجيل الشك	ASTM C494 - Type E
٦- إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية	ASTM C494 - Type F
٧- إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية وتأخير الشك	ASTM C494 - Type G

وكما نرى فإن الأنواع السبعة السابقة بهذه المجموعة من الإضافات ينحصر تأثيرها فى واحد أو أكثر من التأثيرات الثلاث الرئيسية الآتية:

١- تخفيض ماء الخلط (الملدنات والملدنات الفائقة)	ASTM Type A, F
٢- تأخير الشك (المؤجلات)	ASTM Type B
٣- تعجيل الشك (المعجلات)	ASTM Type C

فنجد مثلاً أن النوع D عبارة عن مزيج من النوعين A , B.

أما النوع E عبارة عن مزيج من النوعين A , C.

فىحين نجد أن النوع G عبارة عن مزيج من النوعين F , B.

وفيما يلي شرح موجز للأنواع الرئيسية من هذه المجموعة

أولاً: مخفضات الماء (الملدنات والملدنات الفائقة) Plasticizers and Superplasticizers

ASTM C494 Type A & F

توجد الملدنات (البلاستسيزر) و الملدنات الفائقة (السوبربلاستسيزر) عموماً فى صورة سائلة وتضاف الى الخلطة الخرسانية بنسبة تتراوح من ١% إلى ٣% من وزن الأسمنت وهى أكثر وأهم أنواع الإضافات إستخداماً وشيوعاً. وقد وجد أن نسبة ٣% من الملدنات الفائقة تعطى أفضل النتائج. وتوجد الملدنات فى السوق تحت أسماء تجارية عديدة منها أدكريت - كونبلاست - سيكامنت - ملمينت ...إلخ. والفرق بين النوعين A , F هو أن ان درجة تخفيض ماء الخلط بالنسبة للنوع A (الملدنات) تتراوح من ٦ إلى ١٢% عند ثبات قوام الخلطة الخرسانية. أما بالنسبة للنوع F (الملدنات الفائقة) فإن درجة تخفيضها للماء تزيد عن ١٢% وقد تصل إلى ٣٠% عند نفس قوام الخلطة الخرسانية.

❑ وظيفتها ❑

- تحسين خواص الخرسانة الطازجة وذلك بزيادة القابلية للتشغيل وزيادة السيولة مع ثبات نسبة (م/س) كما فى شكل (٢-١).
- الحصول على خرسانة ذاتية الدمك.
- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة وذلك بتخفيض نسبة (م/س) فى الخلطة مع ثبات درجة القابلية للتشغيل وبالتالى الحصول على خرسانة عالية المقاومة (شكل ٢-٢).
- الحصول على خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية (شكل ٢-٣).
- الحصول على خرسانة عالية الأداء قليلة النفاذية.
- الحصول على خرسانة بدون إنفصال حبيبى أو نضح.

▫ طبيعة الملدنات ▫

الملدنات (A) والملدنات الفائقة (F) عبارةعن مواد بوليمرية تأخذ تركيبات كيميائية متنوعة من أهمها:

- الأساس الكيميائى للنوع A

- لجنوسلفونيت	Ligno-Sulfonate
- أحماض الهيدروإكسيكربوإكسلك	Hydroxycarboxylic Acids
- كربوهيدرات	Carbohydrates

- الأساس الكيميائى للنوع F

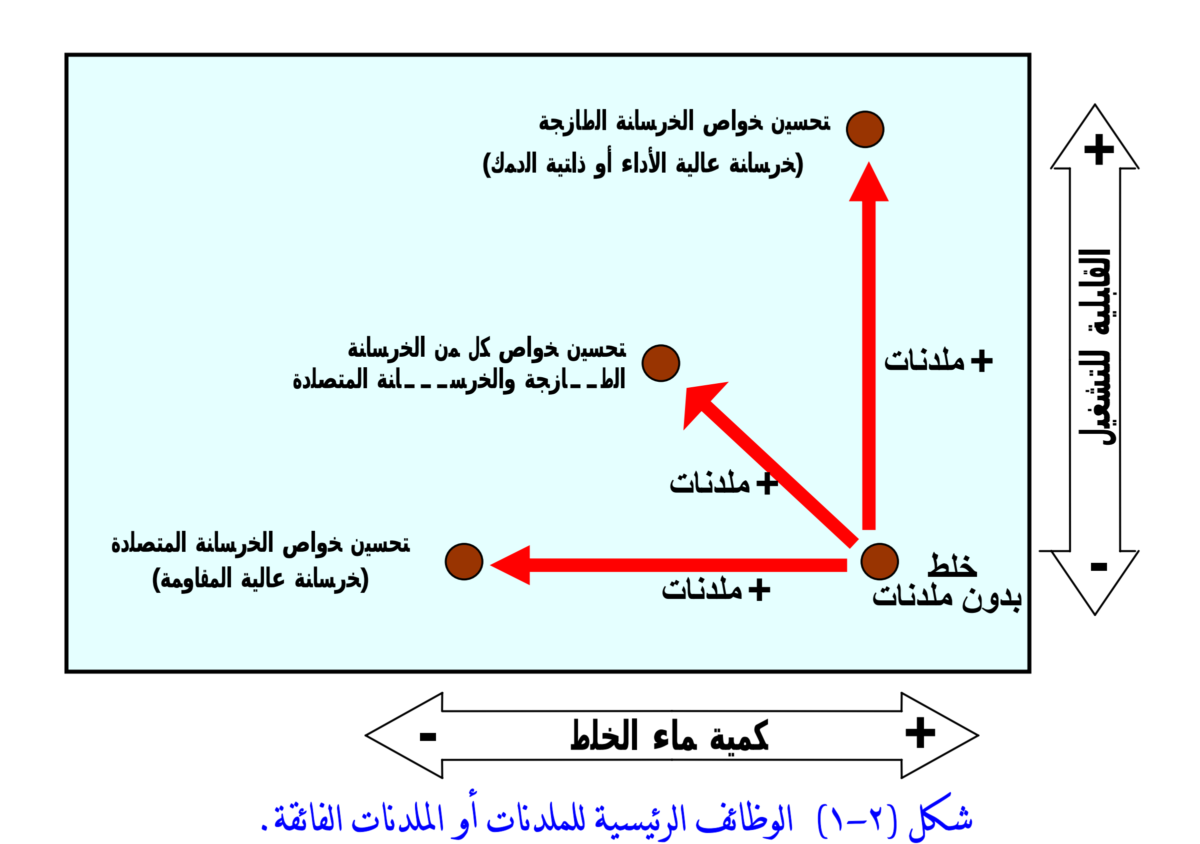
- لجنوسلفونيت معدل	Modified Ligno-Sulfonate
- ميلامين فورمالدهيد	Melamine Formaldehyde
- نفثالين فورمالدهيد	Naphthaline Formaldehyde
- فينول فورمالدهيد	Phenol Formaldehyde
- ناتج تكثيف بيتا نفثالين سلفونيت	Beta-naphthaline Sulfonate

ويمكن الحصول على النوع الأول (لجنوسلفونيت)كمنتج ثانوى من مصانع الورق. و تجدر الإشارة هنا إلى إمكانية مزج النفثالين والميلامين بكبريتات السليلوز التى تعتبر أقل تكلفة من النفثالين والميلامين بالإضافة أن كمية السكر الموجودة فى كبريتات السيليلوز فى معظم الحالات تكون مبطئة للشك مما يعنى إحتفاظ الخرسانة بتشغيليتها لفترة طويلة والتحكم بدرجة معينة فى معدل فقد الهبوط Control of Slump Loss وهو مناسب للإستخدام فى المناطق الحارة (Type D or G). وتجدر الإشارة أن تأثير الملدنات الفائقة على قوام الخرسانة لايستمر إلا لمدة من ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة من لحظة إضافته إلى الخرسانة ، و تقل هذه المدة بإرتفاع درجة الحرارة حيث أن معدل فقد الهبوط فى الخرسانة المحتوية على الملدنات الفائقة يزداد بإزدياد درجة الحرارة.

▫ أســس إختيـار الملدنات والملدنات الفائقة ▫

ينبغي أن يكون إختيار نوع مادة الملدن على الأسس الآتية:

١- معدل تخفيض ماء الخلط
٢- معدل فقد القابلية للتشغيل
٣- التأثير على زمن الشك
٤- التوافق مع الأسمنت المستخدم
٥- المقاومة الناتجة للخرسانة
٦- الثمن و التكاليف.



شكل (٢-١) الوظائف الرئيسية للملدنات أو الملدنات الفائقة.

مقاومة الضغط
م / س

1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 0

0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0

مقاومة الضغط - كج/سم٢

نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س)

محتوى الأسمنت = ٤٥٠ كج/م٣
الهبوط = ١٢٠ مم

0 0.5 1 2 3 4

وزن الملدنات كنسبة مئوية من وزن الأسمنت

شكل (٢-٢) تأثير الملدنات الفائقة على كل من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت.

◻ كيـف تعمل المـلدنـات ◻

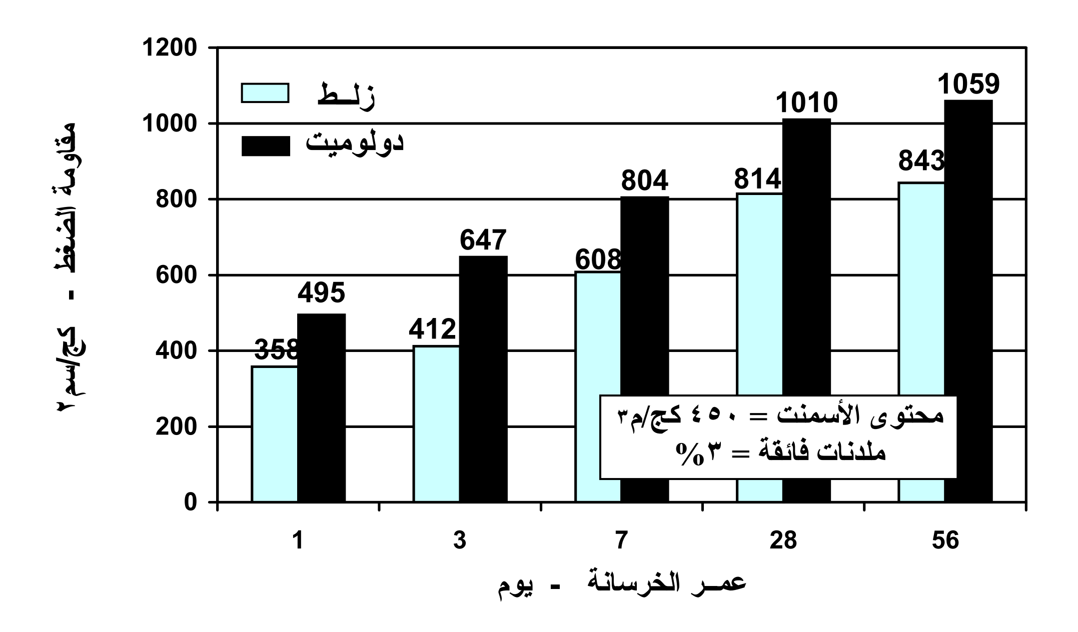
إن كيفية عمل الملدنات أو الملدنات الفائقة فى تسييل الخرسـانة يأخذ واحداً أو أكثر من الصـور الآتية:

١- تشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة وإطلاق المياه المحبوسة بينها.
٢- إحداث التنافر الكهروستاتيكى بين الجزيئات.
٣- العمل علىتشحيم الطبقة الرقيقة بين حبيبات الأسمنت.
٤- تأجيل عملية الإماهة السطحية لحبيبات الأسمنت مع ترك المزيد من المياه لتسييل الأسمنت.
٥- تقليل الشد السطحى للمياه.
٦- تغير البنية التركيبية فى منتجات تفاعلات الإماهة.

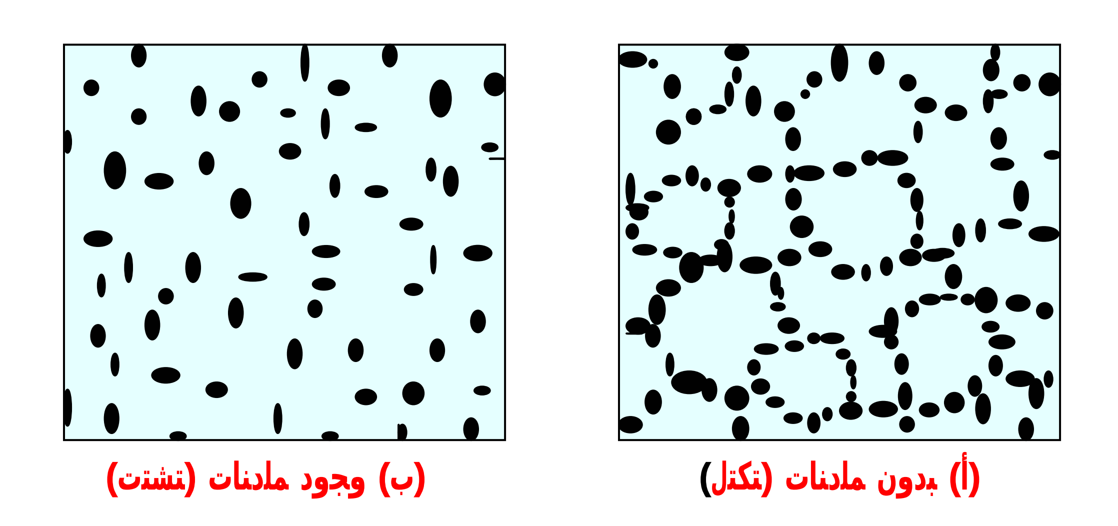
إن جزئيات الأسمنت البورتلاندى العادى تتميز بميلها الشديد للتكتل عندما تخلط مع الماء وهذا الميل هو حصيلة لتفاعلات داخلية متنوعه مثل التفاعلات الالكتروستاتيكية بين الشحنات المتضادة وكذلك تفاعلات عملية الإماهة المتنوعة. إن عملية التكتل تقود إلى تشكيل شبكة من الجزيئات كما هو موضح فى الشكل (٢-٤-أ) حيث تقوم هذه الشبكة بحجز نسبة من الماء حيث يكون هذا مطلوباً لإتمام عملية الإماهة وكذلك توفير التشغيلية المطلوبة فى الخرسانة. ويترتب على ذلك حدوث زيادة فى اللزوجة الظاهرية للنظام الأسمنتى. ودور الملدنات أو الملدنات الفائقة هنا هو العمل على فصل حبيبات الأسمنت المتكتلة عن بعضها ومن ثم الحصول على توزيع متجانس للمياه وإتصال مثالى بين المياه وحبيبات الأسمنت كما هو موضح بشكل (٢-٤-ب).

◻ إختبار عملى ◻

يمكن الوصول إلى طبيعة عمل الملدنات أو الملدنات الفائقة من حيث القيام بفصل حبيبات الأسمنت المتكتلة عن بعضها وذلك بإجراء تجربة ترسيب بسيطة حيث تُؤخذ كمية ثابته من الأسمنت وتُخلط مع الماء خلطاً جيداً ويُترك العالق فى مخبار مدرج وسنلاحظ أن جزيئات الأسمنت تكتلت وهبطت إلى القاع فى خلال وقت صغير نسبياً قد يصل إلى حوالى ٢٠ دقيقة فقط كما نلاحظ أن حجم هذه الحبيبات قد أصبح أكبر مما كان عليه ويتضح ذلك من الفارق فى الحجم المشغول فى المخبار المدرج بالأسمنت الجاف عند مقارنته بالأسمنت الرطب. بينما إذا إستخدمنا نوع معين من الملدنات أو الملدنات الفائقة مع نفس كمية الأسمنت السابقة يلاحظ أنه بعد مضى نفس الزمن السابق أن جزيئات الأسمنت ما تزال معلقة فى الماء ولا يتم ترسبها كلياً إلا بعد وقت يتراوح من ٢٤ساعة إلى ٤٨ساعة وفى هذه الحالة شكلت جزيئات الأسمنت طبقة كثيفة لها نفس حجم الأسمنت الجاف وهذه التجربة تشير بوضوح إلى أن الملدنات أو الملدنات الفائقة تكون فعالة جداً فى تفكيك جزيئات الأسمنت وتشتيتها ويمكن إستغلال هذه التجربة أيضا فى تحديد نسبة الإضافة المطلوبة للأسمنت.



شكل (٢-٣) استخدام الملدنات الفائقة للحصول على مقاومة مبكرة عالية.



(أ) بدون ملدنات (تكتل)

(ب) وجود ملدنات (تشتت)

شكل (٢-٤) دور الملدنات أو الملدنات الفائقة فى فصل وتشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة.

ثانـياً: إضافات تأخير الشك (المؤجلات) Retarders

ASTM C494 Type B

❑ وظيفتـها ❑

تؤخر شك الأسمنت أى تزيد زمن شك و تصلد الخرسانة وتقلل درجة حرارة الإماهة للأسمنت فيقل معدل زيادة المقاومة Rate of Strength Gain وقد تسبب المؤجلات زيادة الإنكماش اللدن فى الخرسانة ولكن ليس لها تأثير يذكر على الخواص الطبيعية والميكانيكية للخرسانة المتصلدة.

❑ الـهدف منها ❑

- عمل خرسانة فى الأجواء الحارة حيث يحدث الشك الإبتدائى للأسمنت سريعاً جداً.
- إذا كانت ظروف صب الخرسانة صعبة ويلزم جعل المونة الأسمنتية لدنة أو سائلة لمدة طويلة.
- إذا كانت هناك رسالة من الأسمنت ذات زمن شك صغير جداً.
- الحصول على خرسانة ذات ركام بارز ظاهر بسطحها.

❑ أهم المركبات المستخدمة ❑

المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates والسكر Sugar

وأملاح الزنك Zink والفوسفات Phosphates.

ثالثـاً: إضافات تعجيل الشك (المعجلات) Accelerators

ASTM C494 Type C

❑ وظيفتـها ❑

تعجل أو تسرع من شك الأسمنت أى تقلل زمن شك و تصلد الخرسانة وبالتالى يزداد معدل التصلد وكذلك تزداد الحرارة المنبعثة المبكرة.

▢ الهدف منها ▢

أ- تستخدم بغرض التعجيل بالشك كما فى الأحوال الآتية:

- إزالة تأثير تأخر الشك الناتج من درجات الحرارة المنخفضة.
- إزالة تأثير تأخر الشك الناتج من إستخدام اضافة أخرى.
- أعمال الطوارئ مثل وقف رشح المياه فى الخزانات.

ب- تستخدم بغرض الحصول على خرسانة مبكرة المقاومة كما فى حالة:

- إزالة الفرم مبكراً.
- التعجيل بزمن إستخدام المنشأ الخرسانى.
- تقليل المدة المطلوبة للمعالجة.

جـ- تستخدم بغرض الحصول على خرسانة تقاوم الصقيع وذلك نتيجة الحرارة المنبعثة المبكرة.

▢ أهم المركبات المستخدمة ▢

المركبات المستخدمة كمعجلات للشك فى الخرسانة هى الهيدروكسيدات القلوية وأملاح الكربونات الذائبة والسليكات ونترات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم و هو الأكثر شهرة نظراً لرخص سعره و كفائته العالية فى رفع المقاومة المبكرة وتقليل زمن الشك وأملاح الكربونات الذائبة وتستخدم بنسب ١ إلى ٢% وبحد أقصى ٤% من وزن الأسمنت. ولكن من عيوب إستخدام كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة المسلحة هو إمكانية حدوث تآكل وصدأ فى حديد التسليح نتيجة تواجد أيونات الكلور فى وجود الرطوبة والأكسجين. لذلك يجب عدم إستخدام كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة المحتوية على حديد تسليح. ويوجد مركبات أخرى بديلة ولكنها أقل كفاءة وأغلى ثمناً مثل نيتريت الكالسيوم وأملاح النترات والبروميدات والفلوريدات والكربونات والسليكات.

▢ إحتياطات ▢

- عدم زيادة نسبة هذه الإضافات عن الحد الأقصى وذلك مخافة حدوث الشك الخاطف Flash Set.
- استخدامها فى الأجواء الحارة بحساب وحذر لتلافى حدوث شروخ الانكماش.

٢-٣-٢ إضافات الهواء المحبوس Air Entraining Admixtures

❑ الهدف منها ❑

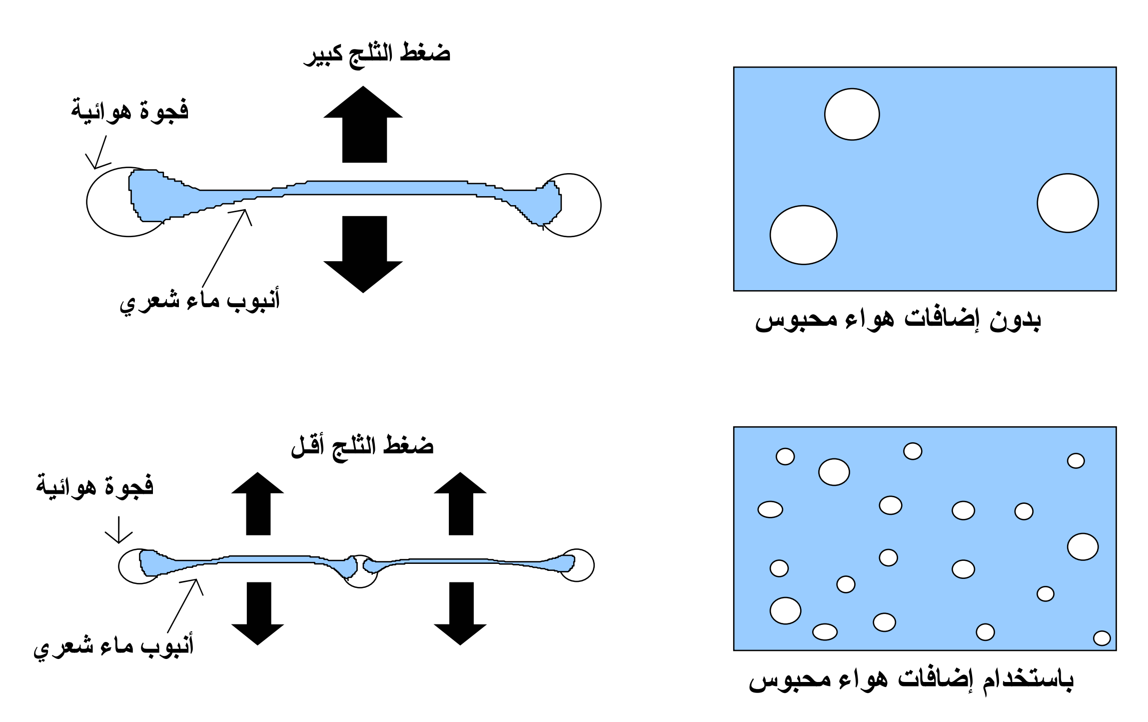
تقليل وزن الخرسانة وزيادة المتانة Durability وخاصة المقاومة للصقيع Frost Resistance ويتم ذلك عن طريق إحداث فقاعات Bubbles هوائية دقيقة (غير متصلة) موزعة توزيعاً منتظماً خلال الكتلة الخرسانية وتبقى كذلك بعد تصلد الخرسانة كما فى شكل (٢-٥).

❑ ويمكن أن يتم ذلك بطريقتين ❑

١- إضافة مواد تحدث رغاوى Foaming وذلك أثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالأصماغ الخشبية Resins والزيوت والمنظفات الصناعية.

٢- إستخدام مواد صلبة تتفاعل مع الأسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة مثل مسحوق بودرة الألمنيوم وبودرة الزنك والماغنسيوم.

وتستخدم هذه المواد بنسب تتراوح من ٠,٠١% إلى ٠,٠٣% من وزن الأسمنت وتحدث هواء محبوس يتراوح من ٥% إلى ١٥% من حجم الخرسانة. ولا تؤثر هذه الإضافات على زمن الشك للخرسانة بينما تؤدى إلى زيادة إنكماش الجفاف وتقل المقاومة فقد وجد أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الهواء المحبوس فى الخلطة ومقاومة الضغط للخرسانة ، حيث تقل المقاومة بمعدل حوالى ٥% تقريباً لكل نسبة هواء محبوس مقدارها ١%.



شكل (٢-٥) تأثير إضافات الهواء المحبوس فى تحسين مقاومة الصقيع.

٢-٣-٣ إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة Permeability-Reducing Admixtures

❐ الهدف منها ❐

تساعد على مقاومة نفاذ الماء إلى الخرسانة ولكنها لا تمنع نفاذ الماء تماماً. وللوصول إلى درجة عالية من مقاومة النفاذية ينبغى العناية بتصميم الخلطة الخرسانية ثم العناية بعمليتى الدمك والمعالجة.

❐ ويمكن تحسين منفذية الخرسانة من خلال المحاور الثلاثة الآتية ❐

١- إضافات صادة للماء Water Proofing Agents

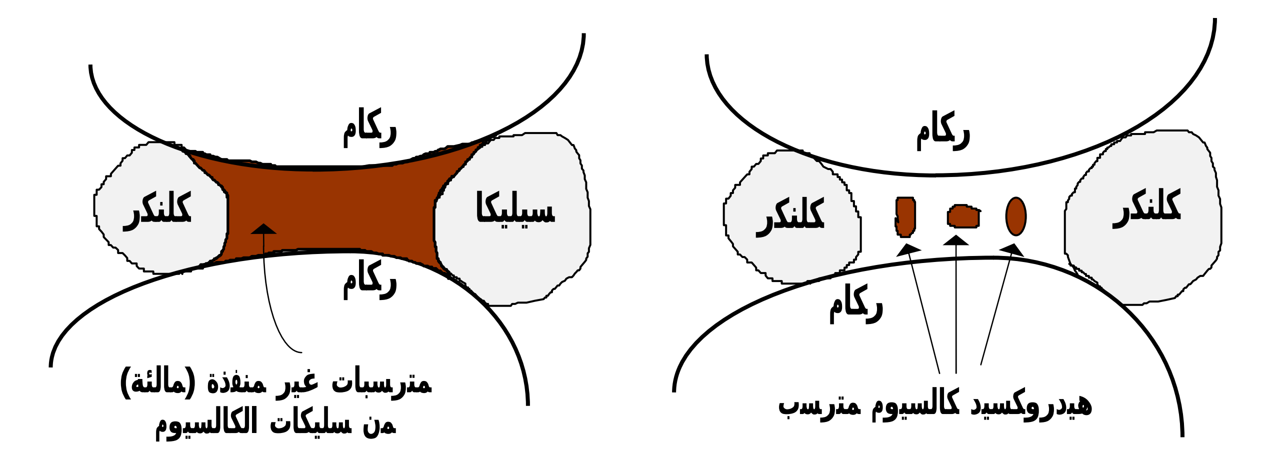
وهى تعمل على منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر والمياه السطحية الملامسة ومن امثلتها زيوت البترول والشمع Wax وتضاف بنسبة تتراوح من ٠,١% إلى ٠,٤% من وزن الأسمنت. وتستخدم المواد البوليمرية أيضاً لهذا الغرض وذلك فى صورة دهانات لأسطح الخرسانة لسد الفجوات الهوائية والشروخ الشعرية الموجودة بالسطح.

٢- استعمال الملدنات الفائقة Superplasticizers

وهى تفيد هنا بطريقة غير مباشرة حيث أنها تعمل على تقليل ماء الخلط وبالتالى الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة بالخلطة ومن ثم تتحسن منفذية الخرسانة.

٣- إستعمال مواد بوزولانية مالئة للفراغات Pozzolanic Materials (Filling Effect)

والمواد البوزولانية هى المواد التى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ومن أمثلتها مادة غبار السيليكا Silica Fume وهى مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للأسمنت (٢٠٠٠٠ سم^{2}/جم) وهى ناتج ثانوى Byproduct فى صناعة سبائك السيليكون والفيروسليكون. وتتفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتى لاتذوب فتؤدى إلى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية كما هو موضح فى شكل (٢-٦).



عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على غبار السيليكا

عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على أسمنت بورتلاندى

شكل (٢-٦) دور غبار السليكا فى تحسين منفذية الخرسانة.

٢-٣-٤ إضافات لمنع إجتراف الأسمنت بفعل الماء Antiwashout Admixtures

عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على إجتراف الأسمنت من الخرسانة وينتج عن ذلك نقص فى مقاومتها و تعكر فى المياه المحيطة بها. ولهذا السبب يستخدم هذا النوع من الإضافات التى تعتبر من أحدث أنواع الإضافات الموجودة فى السوق حالياً. و تعمل هذه الإضافات على تكوين جل فى الماء المحيط بحبيبات الأسمنت فتحميه من الإجتراف بفعل الماء كما تعمل على زيادة اللزوجة و التماسك بين جزئيات الخرسانة و تحسن من مقاومتها للإنفصال. ويستخدم هذا النوع من الإضافات أيضاً فى إنتاج الخرسانة عالية السيولة أو الخرسانة ذاتية الدمك حيث تقوم هذه الإضافات بمقاومة الإنفصال الحبيبى وزيادة التماسك للخرسانة. وتتكون هذه الإضافات من بوليمرات أكريليكية أو مركبات سليولوزية على هيئة بودرة قابلة للذوبان فى الماء وتضاف إلى الخلطة بنسبة تقريبية ١% من وزن الأسمنت.

ولتقييم كفاءة هذه الإضافات لمقاومة الخرسانة لإجتراف الأسمنت بفعل الماء يتم إجراء إختبار سقوط الخرسانة فى الماء حيث يتم وضع كمية من الخرسانة حجمها ٣ لتر فى سلة مثقبة ثم يسمح بسقوطها ورفعها خمس مرات خلال الماء الموجود فى وعاء قطره ٣٠ سم وإرتفاعه ٥٠ سم. يتم قياس النقص فى وزن الخرسانة نتيجة إجتراف الأسمنت و تقاس درجة العكارة للماء حيث ينبغى أن لا تزيد عن ٥٠ مجم/لتر كما يقاس الأس الهيدروجينى pH للماء والذى يجب أن يقل عن ١٢,٥. كذلك تقاس مقاومة الضغط للخرسانة بعد إخراجها من الماء ، حيث يلزم أن تكون النسبة بين مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء و مقاومة الضغط للخرسانة المماثلة المصبوبة فى الهواء أكبر من ٨٠%.

ويمكن تلخيص تأثير هذا النوع من الإضافات فيما يلى:

١- تتحسن قدرة الخرسانة على مقاومة إنفصال مكوناتها.

٢- تتحسن مقاومة الخرسانة للنزيف بدرجة كبيرة.

٣- الخرسانة المحتوية على هذه الإضافات يكون لها القدرة على الإنسياب والتسوية الذاتية.

٤- النوع السليولوزى من هذه الإضافات يعمل على تأخير الشك الإبتدائى والنهائى ، حيث قد يصل الشك الإبتدائى إلى أكثر من ١٨ ساعة بينما يزيد الشك النهائى إلى ما يقرب من ٤٨ ساعة.

٥- تؤدى هذه الإضافات إلى نقص مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء بنسبة قد تصل إلى ٢٠% إذا ما قورنت بمقاومة الضغط للخرسانة المماثلة و المصبوبة فى الهواء.

٢-٣-٥ إضافات لتلوين الخرسانة Coloring Admixtures

وهى عبارة عن أكاسيد معدنية Metallic Oxide وهى متوفرة فى صورة مواد طبيعية أو صناعية ويشترط فيها أن تكون خاملة كيميائياً وأن لا تزيد نسبتها عن ١٠% من وزن الخرسانة. ومن أهم المواد المستخدمة فى ذلك:

أكسيد الحديد الأسود و الكربون ⇦ اللون الرصاصى أو الأسود

ثانى أكسيد التيتانيوم ⇦ اللون الأبيض

أكسيد الكروم ⇦ اللون الأخضر

أكسيد الحديد الأحمر ⇦ اللون الأحمر

أكسيد الحديد الأصفر ⇦ لون الكريم أو لون سن الفيل

أكسيد الحديد البني ⇦ اللون البنى

٢-٣-٦ إضافات أخرى متنوعة Miscellaneous Admixtures

يوجد العديد من الإضافات الأخرى التى تستخدم مع الخرسانة نذكر منها الآتى:

١- إضافات حقن الخرسانة.

٢- إضافات للمساعدة فى ضخ الخرسانة.

٣- إضافات لمنع تكون الرطوبة بالخرسانة.

٤- إضافات لمنع تكون الفطريات والبكتريا على الأسطح الخرسانية للمنشآت المآئية.

٥- إضافات لمنع التآكل والصدأ فى حديد التسليح.

٦- إضافات لتقليل التفاعل القلوى بين الركام والأسمنت.

٧- إضافات لتكوين الغازات داخل الخرسانة.

٨- إضافات لتحسين التماسك بين حديد التسليح والخرسانة.

****

الباب الثالث

الأنواع المختلفة (الخاصة) من الخرسانة

Special Types of Concrete

يوجد العديد من أنواع الخرســانة ويمكن تصنيف أهم هذه الخرسانات كما يلي:

١- الخرسانة العادية	**Plain Concrete**
٢- الخرسانة المسلحة	**Reinforced Concrete**
٣- الخرسانة سـابقة الإجهاد	**Prestressed Concrete**
٤- الخرسانة الجاهزة (سابقة الصـب)	**Precast Concrete**
٥- الخرسانة عالية المقاومة	**High Strength Concrete**
٦- الخرسانة الليفية	**Fibrous Concrete**
٧- الخرسانة ذاتية الدمك	**Self-Compacting Concrete**
٨- الخرسانة البوليمرية	**Polymer Concrete**
٩- الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش)	**Shotcrete**
١٠- الخرسانة الخفيفة	**Light-Weight Concrete**
١١- الخرسانة الثقيلة	**Heavy-Weight Concrete**
١٢- الخرسانة الكتلية	**Mass Concrete**
١٣- الخرسانة المعبأة	**Prepacked Concrete**
١٤- خرسانة الركام ناقص التدرج	**Gap Concrete**
١٥- الخرسانة المعمارية	**Architectural Concrete**
١٦- خرسانة التسـمير	**Nailing Concrete**
١٧- الخرسانة الكبريتية	**Sulfur Concrete**

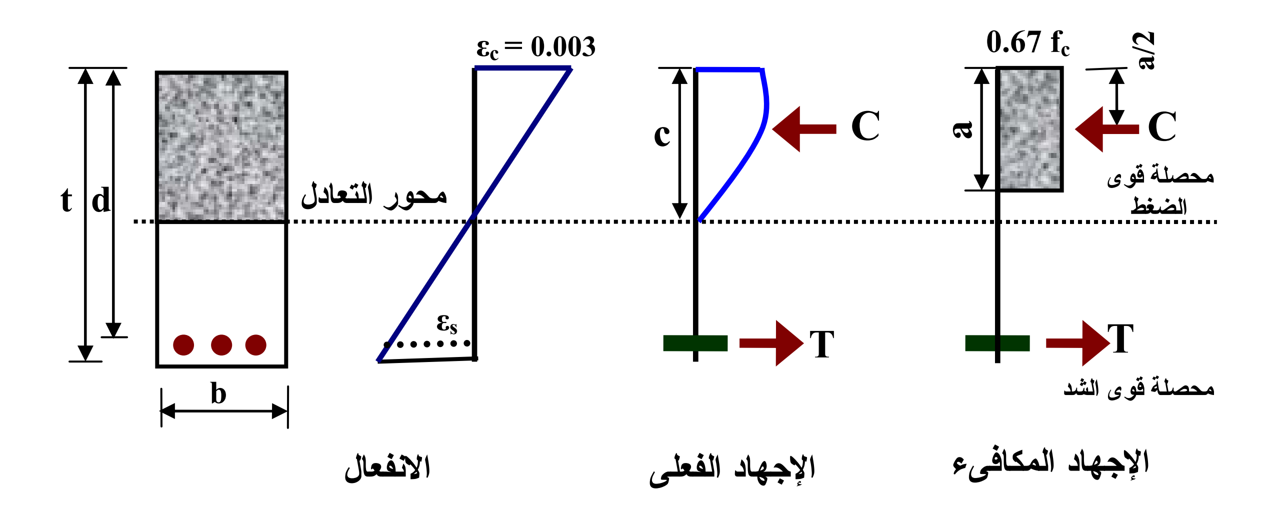
فيما يلي نبذة مختصـرة عن أهم هذه الأنواع:

٣-١ الخرسانة العادية Plain Concrete

وهى خرسانة بدون أي حديد تسليح وتستخدم فى أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية الغير معرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود. ومقاومتها تتراوح من ١٥٠ إلى ٢٥٠ كج/سم٢ حسب الغرض المستخدمة من أجله. ويمكن تحسين بعض الخواص فيها لكي تناسب غرض الاستخدام ، مثلاً أن تكون مقاومة للكبريتات أو مقاومة لعوامل التعرية والتآكل كما فى حالة المصدات البحرية.

٣-٢ الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete

وهى خرسانة عادية ويشترك معها حديد تسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من الخرسانة هو الأكثر شيوعاً واستخداماً فى العالم وذلك لسهولة تنفيذه ورخص تصنيعه. ويمكن أن يُصب فى الموقع مباشرة أو يُصب فى المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة. وينبغي تحقيق الاتزان Equilibrium و التوافق Compatibility بين الإجهادات و الانفعالات فى كل من الخرسانة و الحديد. ومعظم كودات التصميم تهمل تماماً مقاومة الخرسانة للشد وبالتالى فإن الحديد يتحمل كل قوى الشد المؤثرة ، أما الخرسانة فتتحمل قوى الضغط. شكل (٣-١) يوضح توزيع الإجهادات والانفعالات على قطاع مستطيل من الخرسانة المسلحة.



شكل (٣-١) الإجهاد والإنفعال لعنصر من الخرسانة المسلحة ذو قطاع مستطيل معرض لعزم إنحناء .

٣-٣ الخرسانة سـابقة الإجهاد Prestressed Concrete

وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة بملاشاة إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال وبالتالى لا نحتاج إلى حديد تسليح حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول القطاع الخرسانى بعد التحميل (التشغيل) هى غالباً إجهادات ضغط وبالتالى تكون الخرسانة كفيلة بتحملها. وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من ٣٥٠ إلى ٦٠٠ كج/سم^{٢} وذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع وإجهادات ضغط التشغيل. وأسياخ الصلب المستخدمة فى الخرسانة سابقة الإجهاد تسمى كابلات Tendons وهى عبارة عن أسلاك Wires أو حبال مجدولة من مجموعة أسلاك Strands أو قضبان من الصلب Bars. وتمتاز الخرسانة سـابقة الإجهاد بقلة الشروخ السطحية مع مقاومة عالية للأحمال. وهى مناسبة للاستخدام فى الكبارى والمستودعات المائية والوحدات الجاهزة مثل فلنكات السكك الحديدية وأعمدة التلغراف. وعموماً يوجد طريقتان لإكساب الخرسانة لإجهادات الضغط:

أ- طريقة الشد السابق Pre-tension

وفيها يتم شد كابلات الصلب قبل صب الخرسانة وقبل تصلدها. وتترك هذه الكابلات مشدودة (فى حدود المرونة) حتى تتصلد الخرسانة وتكتسب مقاومتها القصوى ثم بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب الذى يحاول أن ينكمش داخل الخرسانة المتصلدة مما يؤدى إلى حدوث إجهادات ضغط فى الخرسانة عن طريق قوى التماسك بين الحديد و الخرسانة كما بشكل (٣-٢). وتستخدم طريقة الشد السابق فى إنتاج الوحدات سابقة الصب سابقة الإجهاد حيث تسمح المعالجة بالبخار واستخدام خرسانة عالية المقاومة المبكرة فى الإزالة المبكرة لتلك الوحدات والاستغلال اليومي للقوالب.

ب- طريقة الشد اللاحق Post-tension

وفيها يتم عمل أنابيب مفرغة (مواسير أو أجربة) داخل الخرسانة وتوضع كابلات الصلب حرة الحركة بداخلها بدون شد حتى تتصلد الخرسانة تماماً (شكل ٣-٣). يتم شد الكابلات بعد تصلد الخرسانة حيث لا يكون هناك أى قوى تماسك بين الصلب و الخرسانة. بعد ذلك يتم رفع وإزالة قوى الشد من الصلب حيث يسبب إجهادات ضغط على ألواح الصلب المثبتة فى طرفى العنصر الخرسانى والتى تنتقل بدورها إلى الخرسانة بالتحميل. بعد ذلك تملأ الفراغات بين كابلات الصلب والمواسير بمونة الجراوت التى تتصلد وتقلل من فرصة صدأ صلب الكابلات.

هذا وفى الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة ـ طبعة ٢٠٠١ـ فقد تم تخصيص الباب العاشر للخرسانة سابقة الإجهاد حيث التعرف على كافة الاعتبارات الخاصة بالمواد المستخدمة فى هذه الخرسانة وتصميم قطاعاتها ونظم التحليل الإنشائى لها و التفتيش وضبط الجودة الخاص بهذه الخرسانة.

σ

σ_1

$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E}$

$\varepsilon_1 = \frac{}{L}$

$\Delta L = ?$

ε_1

ε

w t/m'

إجهادات التشغيل

T

T

إجهادات التصنيع

f_{c1} f_{c2} $f_{c1} + f_{c2}$

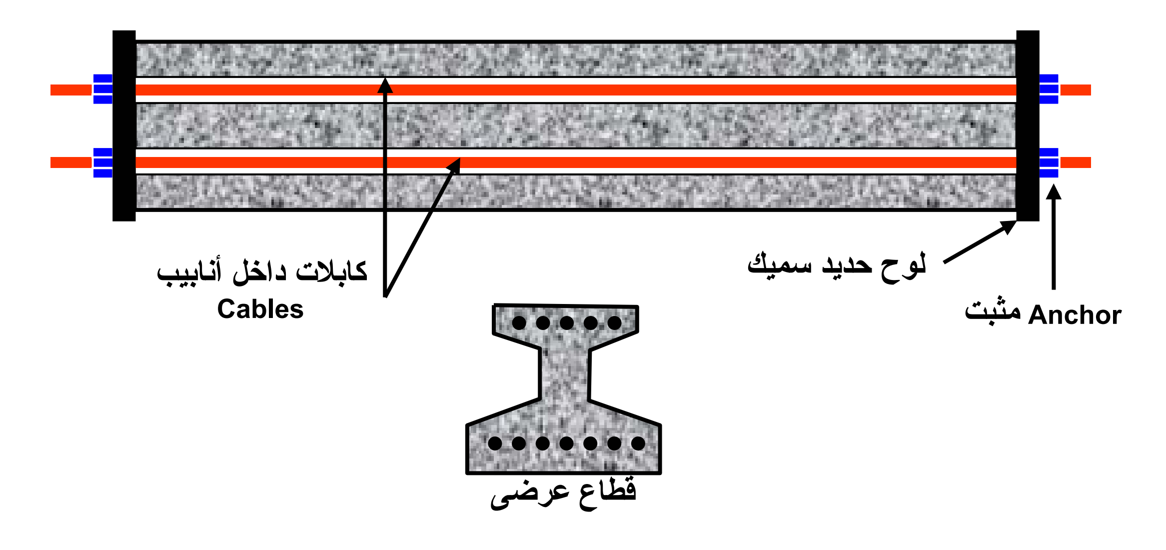
f_{t1} f_{c3} $f_{c3} - f_{t1}$

إجهادات التشغيل

إجهادات التصنيع

محصلة الإجهادات

شكل (٣-٢) توضيح لطريقة الشد السابق.



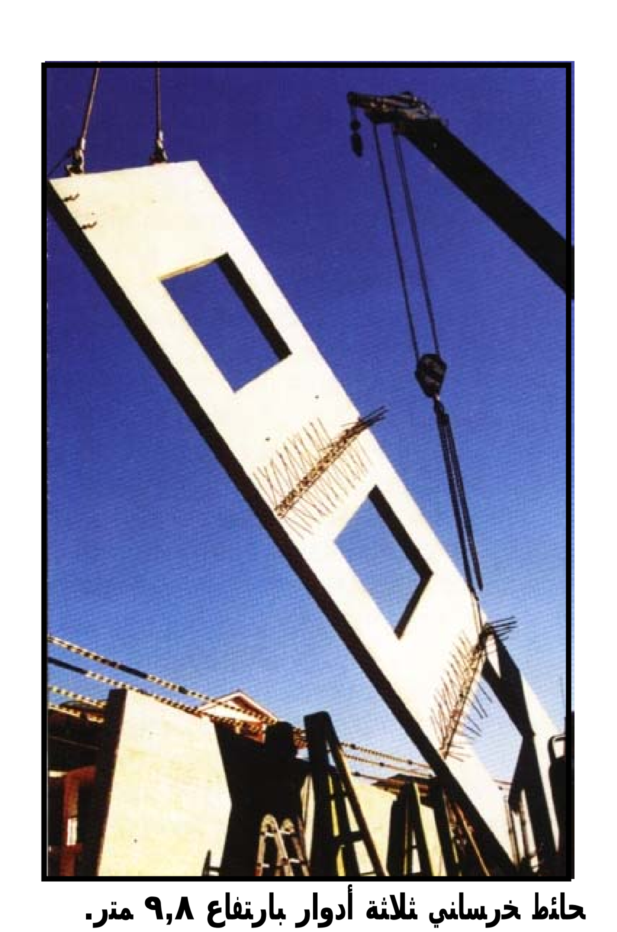
شكل (٣-٣) توضيح لطريقة الشد اللاحق.

٣-٤ الخرسانة الجاهزة (سابقة الصب) Precast Concrete

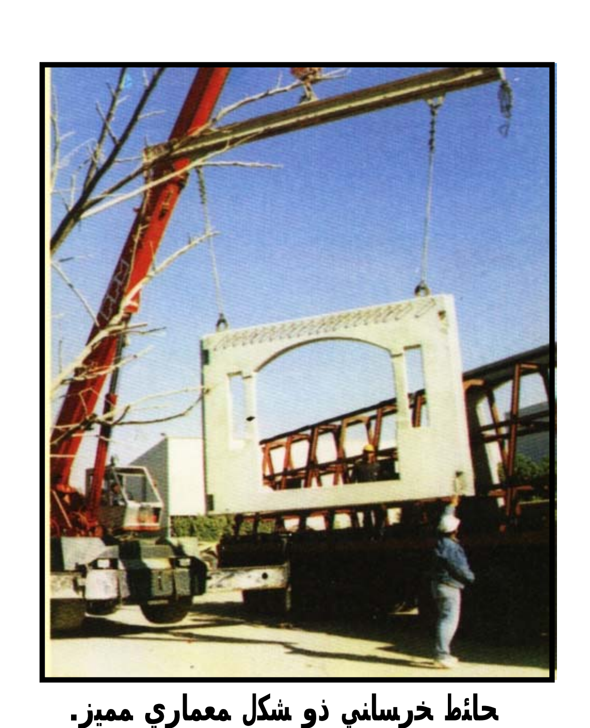
تصب الخرسانة وتعالج حتى تمام تصلدها فى المصنع ثم بعد ذلك تنقل إلى المنشأ وممكن أن تكون خرسانة عادية أو مسلحة أو سابقة الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والحوائط والبلوكات الخرسانية والفلنكات ووحدات الأسوار والسلالم. وفيها يتم التحكم فى عملية جودة الخرسانة والتصنيع مثل:

١- استخدام ركام جيد متدرج
٢- تقليل الماء
٣- إجراء الدمك والخلط ميكانيكيا
٤- معالجة بالبخار
٥- استخدام إضافات للتلوين
٦- استخدام المواد العازلة المطلوبة

وتوضح الأشكال (٣-٤) ، (٣-٥) بعض التطبيقات التى تستخدم فيها الخرسانة سابقة الصب بنجاح. وعند تصنيع العناصر المختلفة من الخرسانة الجاهزة فيجب الأخذ فى الاعتبار كافة الأحمال الخارجية المؤثرة على العنصر فى مراحل التصنيع والتخزين والنقل و التركيب والتنفيذ والاستخدام.



حائط خرساني ثلاثة أدوار بارتفاع ٩,٨ متر.



حائط خرساني ذو شكل معماري مميز.

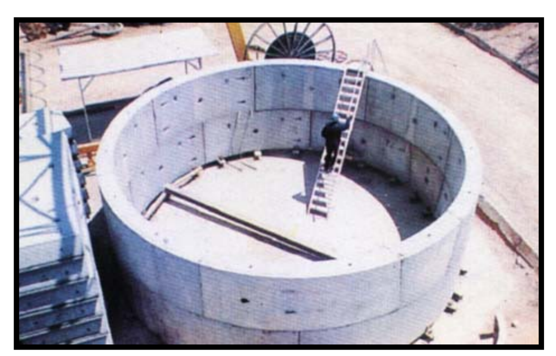
شكل (٣-٤) بعض الحوائط من الخرسانة سابقة الصب .



سور من الخرسانة سابقة الصب بمدينة السادس من أكتوبر



مجارى خرسانية لتصريف مياه الأمطار
(نفق الأزهر)



حلقات خرسانية ذات تجويف بقطر ٨,٣٥ متر
(مترو أنفاق القاهرة)



سلالم خرسانية سابقة الصب (فندق الميريديان)

شكل (٣-٥) بعض التطبيقات المختلفة للخرسانة سابقة الصب .

٣-٥ الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete

وهى خرسانة ذات مقاومة تزيد عن ٦٠٠كج/سم٢ وقد تصل أو تزيد عن ١٤٠٠كج/سم٢ ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتى تستخدم فى صناعة الخرسانة التقليدية (٢٥٠كج/سم٢) من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوى على مادة إضافية أخرى وهى الملدنات Superplasticizers وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالى الحصول على المقاومة العالية (أنظر البابين الأول والثانى). أما المواد البوزولانية مثل مادة غبار السيليكا Silica fume فقد توجد أولا توجد فى كلٍ من نوعىّ الخرسانة. إن أهم شيء يجب أخذه فى الاعتبار عند إنتاج خرسانة عالية المقاومة هو اختيار مجموعة المواد التى تتجانس مع بعضها لتعطى خرسانة جيدة لها المقاومة و المتانة وكذلك القابلية للتشغيل المطلوبة.

٣-٥-١ الخصائص المطلوب توافرها فى المكونات:

أ- الركام الكبير يجب أن يكون قوى ومتين لأنه يعمل كعامل يحدد مقاومة الخرسانة القصوى حيث أن الشروخ فى حالة الخرسانة عالية المقاومة تمر خلال حبيبات الركام الكبيرة وليس حولها كما فى حالة الخرسانة التقليدية. وقد وجد أن الخرسانة المصنوعة من الصخر (مثل الجرانيت أو الدولوميت) تعطى مقاومة أكبر بحوالى ١٠ إلى ٢٠% من تلك المصنوعة من الزلط.

ب- الركام الصغير أو الرمل يجب أن يكون خشن نوعاً ما حيث يكون معاير النعومة له من ٢,٨ إلى ٣,٠ وذلك لأن الخلطة تكون غنية بالمواد الناعمة مثل الأسمنت وغبار السيليكا إن وجدت.

ج- الأسمنت يجب أن يكون عالي الجودة وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة. ولقد وجد أن النسبة المثلى التى تعطى أكبر مقاومة للخرسانة تقع بين ٤٥٠ إلى ٥٠٠كج/م٣ (٩ : ١٠ شكاير). ويعتمد ذلك على خصائص وكميات ونسب باقي المكونات وعما إذا كانت الخلطة تحتوى على مادة غبار السيليكا أم لا.

د- غبار السيليكا Silica fume وهى مادة بوزولانية تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالى زيادة المقاومة وتحسين النفاذية. وعموماً فإن الزيادة فى مقاومة الضغط بتأثير مادة غبار السيليكا قد لا تتجاوز ٢٠%. وتجدر الإشارة أن النسبة المثلى من غبار السيليكا تتراوح من ١٠ إلى ١٥% من وزن الأسمنت.

هـ- الملدنات Superplasticizers وهى أهم مكون للحصول على خرسانة عالية المقاومة حيث بواسطتها نستطيع خفض نسبة ماء الخلط إلى ٠,٢٥ من وزن الأسمنت فقط وبالتالى يمكننا الحصول على أعلى مقاومة. ويجب عمل تحقيق وتأكد من مدى توافق هذه المادة مع الأسمنت المستخدم.

٣-٥-٢ تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة

ظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً فى عدة تطبيقـــــــات تقليـديـة Classical Applications هدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية فى الحصول على أقل مساحة قطاع وأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ. ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة فى ثلاثة أشياء رئيسية هى:

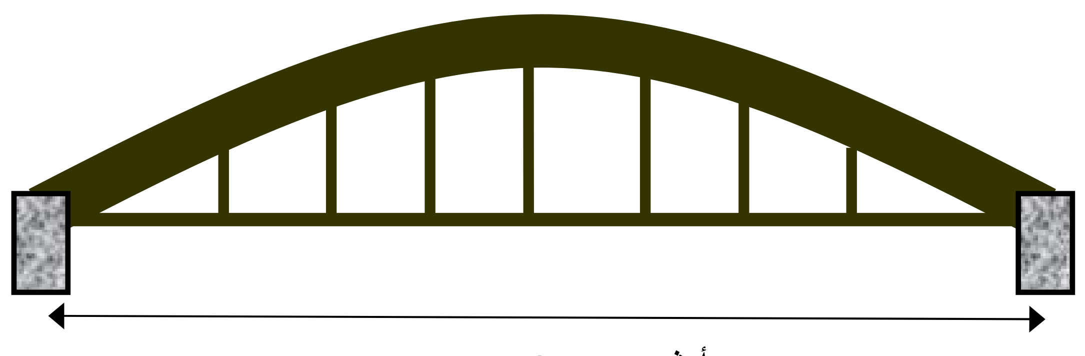
* المباني عالية الارتفاع	High Rise Buildings
* الكبارى	Bridges
* المنشآت البحرية	Offshore Structures

وحديثاً تم استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى تطبيقات أخرى متنوعة (شكل ٣-٦) للاستفادة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من مميزاتها العديدة. وهذه التطبيقات قد تأخذ اسم "تطبيقات غير تقليدية" Non-Classical Applications ومن هذه التطبيقات:

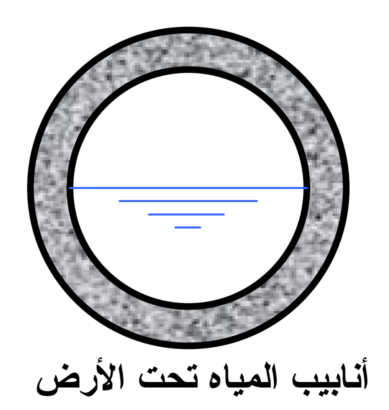
* الحصول على مقاومة مبكرة عالية	High Early Strength
* إعادة إحياء العناصر الإنشائية القديمة مثل الأرش	Arch Girder
* استخدامها مع قطاعات الحديد لزيادة جساءة المنشأ	Improving Stiffness
* عمل خوازيق لولبية لتنفيذها بدون إهتزازت أو ضوضاء	Screwing Piles
* محطات الطاقة النووية	Nuclear Power Plants
* الأنابيب الخرسانية تحت الأرض	Underground Concrete Pipes
* الأرصفة و الطرق	Pavements

ملحوظة :

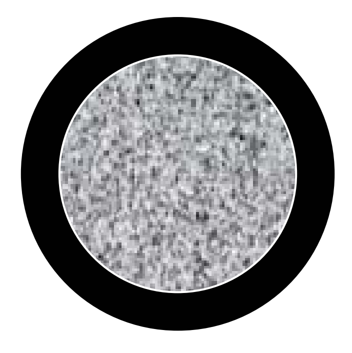
ينبغي أن نفرق بين الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete فالخرسانة عالية الأداء هى الخرسانة التى لها صفات وخصائص معينة تسمح لها بالعمل فى وسط محدد وفى ظروف معينة. والخصائص التى تميز الخرسانة عالية الأداء عن الخرسانات الأخرى قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة الطازجة مثل القابلية للتشغيل أو القوام أو قد تتضمن بعض خصائص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى والخدش أو المقاومة للصقيع أو المقاومة للانكماش. وهذه الخصائص قد تكون منفصلة أو مجتمعة بحيث تعطى خرسانة لها أداء مختلف عن أداء الخرسانة التقليدية المعتادة. والخرسانة عالية الأداء لا يشترط فيها أن تكون عالية المقاومة.



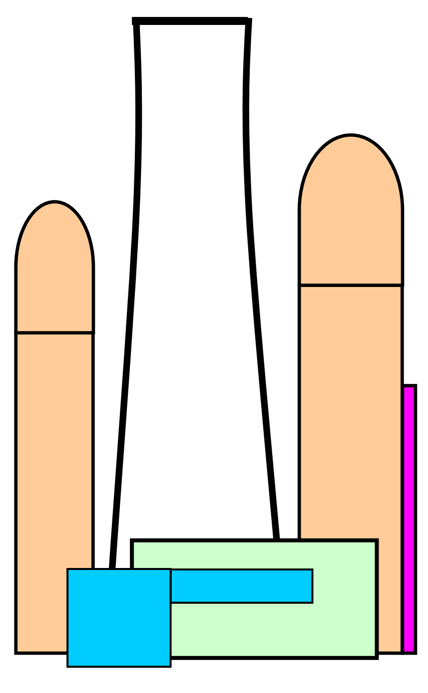
Arch Girder أرش



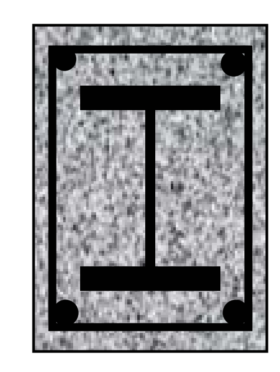
أنابيب المياه تحت الأرض



الأنابيب المعدنية المملوءة بالخرسانة



محطات الطاقة النووية



القطاعات المركبة

شكل (٣-٦) بعضاً من التطبيقات غير التقليدية للخرسانة عالية المقاومة.

٣-٥-٣ الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى مصر

إن الخرسانة عالية المقاومة تحتاج إلى تكلفة أكثر نتيجة استخدام مواد ذات جودة عالية وكذلك ثمناً للإضافات المستخدمة وأيضاً لضبط الجودة العالي. وبالرغم من ذلك فقد ثبت عملياً أن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يكون له عائد إقتصادى أو عائد فنى كبير بالمقارنة بالخرسانات التقليدية الأخرى. ولقد تم دراسة هذه النقطة فى عدة أبحاث تختص بدراسة الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الأعمدة والكمرات وذلك تحت الظروف والأسعار الموجودة فى مصر. ومن الأبحاث التى تناولت هذه النقطة بالتحليل الأبحاث رقم ٢٧ ، ٢٨ ، ٢٩ بقائمة المراجع. وفيما يلي عرض موجز لأهم النتائج فى هذا الصدد.

أولاً العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة

إن الجدوى من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى العناصر المعرضة لقوى ضغط مثل الأعمدة تكون أقصى ما يمكن حيث يمكن الاستفادة من ذلك اقتصاديا (بتوفير التكاليف) وفنياً (بعمل تخفيض فى المساحات والمقاطع) ويمكن تلخيص ذلك فى النقاط الآتية:

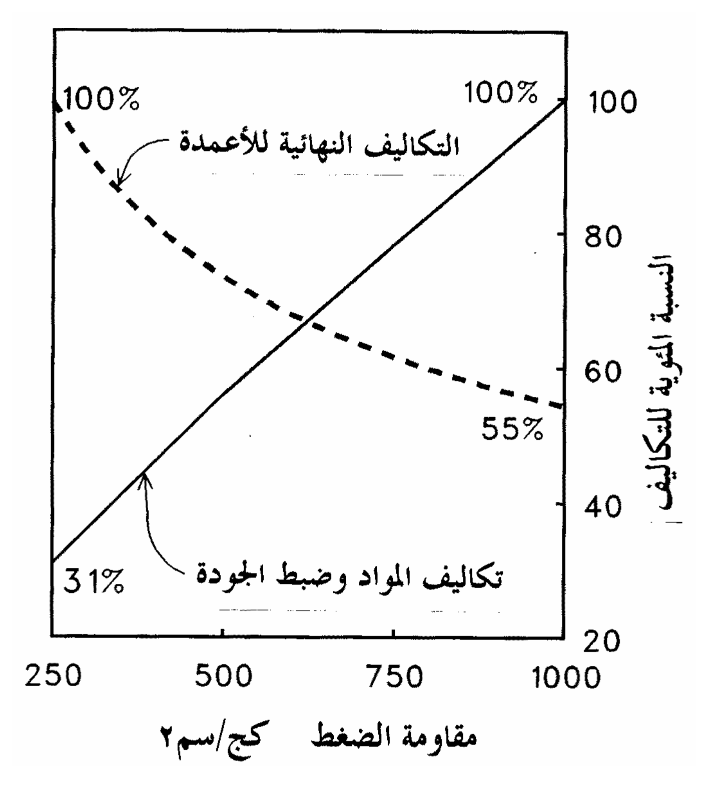
١- على الرغم من زيادة تكاليف المتر المكعب من الخرسانة عالية المقاومة وكذلك زيادة تكاليف ضبط الجودة إلا أن التكاليف النهائية للعمود تقل كثيراً. فباستخدام خرسانة مقاومتها للضغط ١٠٠٠ كج/سم^{٢} فإن التكاليف النهائية للأعمدة تصل إلى حوالى ٥٥% فقط من التكاليف فى حالة استخدام خرسانة ذات مقاومة للضغط ٢٥٠ كج/سم^{٢} كما هو مبين بشكل (٣-٧).

٢- مساحة القطاع الخرسانى للأعمدة المعرضة إلى حمل ضغط محوري تقل إلى ما يقرب من ٥٤% و ٣٧% نتيجة استخدام خرسانة ذات مقاومة للضغط تساوى ٥٠٠ كج/سم^{٢} و ٧٥٠ كج/سم٢ بدلاً من ٢٥٠ كج/سم^{٢} على الترتيب (أنظر شكل ٣-٨ ، شكل ٣-٩).

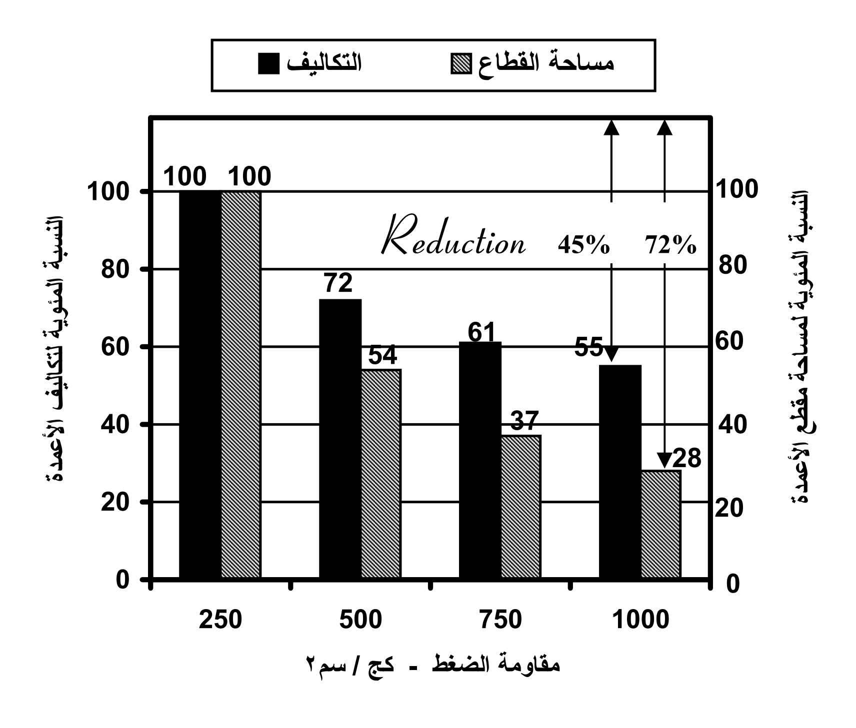
٣- أثبتت الدراسات التحليلية أنه بالنسبة لعمود ذو مقطع ثابت و معرض إلى حمل ضغط محوري فإن هناك انخفاض فى نسبة حديد التسليح مقداره ٢,٢% لكل ١٠٠ كج/سم^{٢} زيادة فى مقاومة الضغط للخرسانة.

٤- إن الانخفاض الملحوظ فى أبعاد القطاع الخرسانى (خاصة فى الطوابق السفلى) ذو أهمية خاصة لخدمة الأغراض المعمارية وزيادة المساحة المستغلة (شكل ٣-٩).

٥- ثبات القطاع الخرسانى مع زيادة المقاومة يسمح بزيادة عدد الطوابق للمنشأ نفسه.

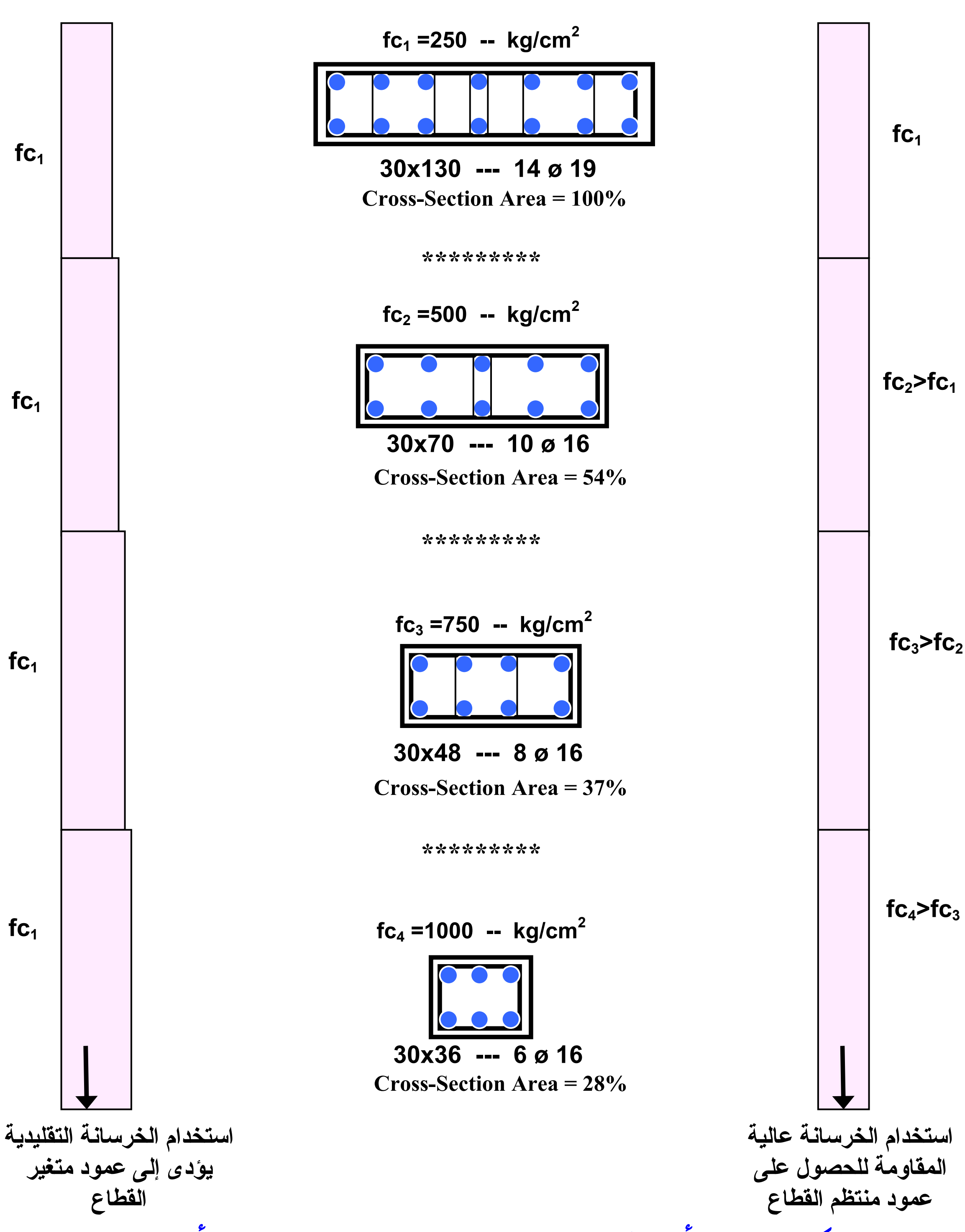


شكل (٣–٧) اقتصاديات الخرسانة عالية المقاومة فى الأعمدة.



شكل (٣–٨) انخفاض أبعاد القطاع الخرسانى فى الأعمدة.

❑ المثال الآتى يوضح مدى الفوائد من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل قطاعات الأعمدة وكذلك تقليل كمية حديد التسليح المستخدمة. نفترض أن هناك عمود قصير يؤثر عليه حمل ضغط محوري مقداره ٤٠٠ طن والمطلوب تصميم قطاع العمود باستخدام خرسانات ذات مقاومة للضغط مقدارها ٢٥٠ ، ٥٠٠ ، ٧٥٠ ، ١٠٠٠ كج/سم٢ إذا علم أن مقاومة الخضوع للحديد تساوى ٢٤٠٠ كج/سم٢ وأن نسبة الحديد فى القطاع تساوى ١%.



شكل (٣-٩) تأثير الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل قطاعات الأعمدة.

ثانياً العناصر المعرضة لعزوم إنحناء مثل الكمرات

إن استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى العناصر المعرضة لعزوم إنحناء مثل الكمرات لا ينتج عنه خفض كبير فى التكاليف كما فى حالة الأعمدة وإنما تكون الاستفادة فى هذه الحالة من الناحية الفنية أكثر من الناحية الاقتصادية. ويمكن تلخيص ذلك فى النقاط الآتية:

١- الاستفادة الاقتصادية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات تتحقق فقط عندما يتم تقليل عرض القطاع مع ثبات العمق وثبات نسبة حديد التسليح فى القطاع. فقد وجد أنه بزيادة مقاومة الضغط ثلاثة مرات فإن عرض القطاع يمكن أن يقل إلى حوالى الثلث كما تقل التكاليف النهائية بنسبة ١٤%.

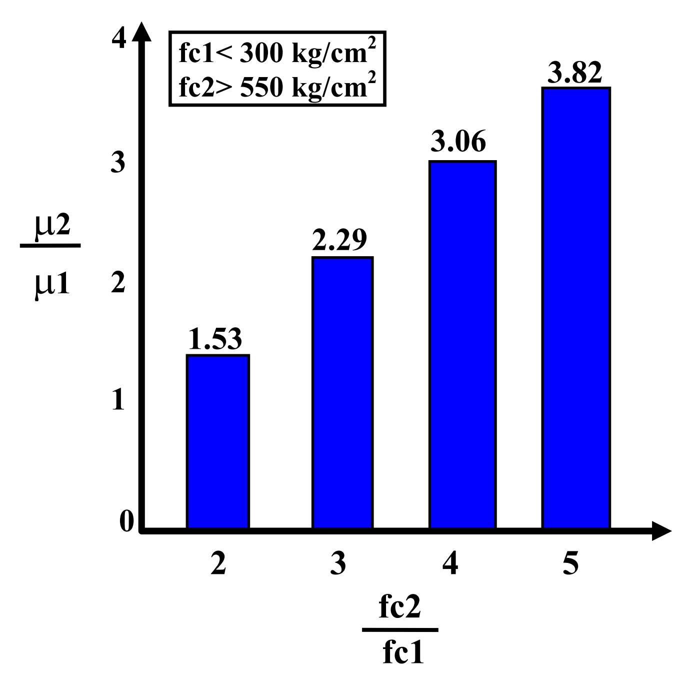
٢- إن استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات يستلزم زيادة نسبة الحديد الرئيسي حتى نتجنب حدوث انفعال زائد فى الحديد وبالتالى نتجنب حدوث شروخ أكثر وأوسع. ولقد وجد أنه عند زيادة مقاومة الخرسانة إلى الضعف فإن حديد التسليح ينبغي زيادته بنسبة ٥٣% كما هو واضح بشكل (٣-١٠) ، وذلك حتى نحصل على نفس قيمة الانفعال فى حديد التسليح.

٣- تتحقق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات وذلك بتقليل عمق القطاع وزيادة نسبة حديد التسليح. فقد وجد أنه عند زيادة مقاومة الضغط للخرسانة ثلاثة مرات فإن عمق القطاع يمكن أن يقل إلى حوالى ٦٤% من العمق الأصلي (شكل ٣-١١) ولكن نسبة الحديد تزيد وتصل إلى حوالى ٢٢٩% من النسبة الأصلية. وعليه فإن التكاليف تزيد بنسبة ٤٢%.

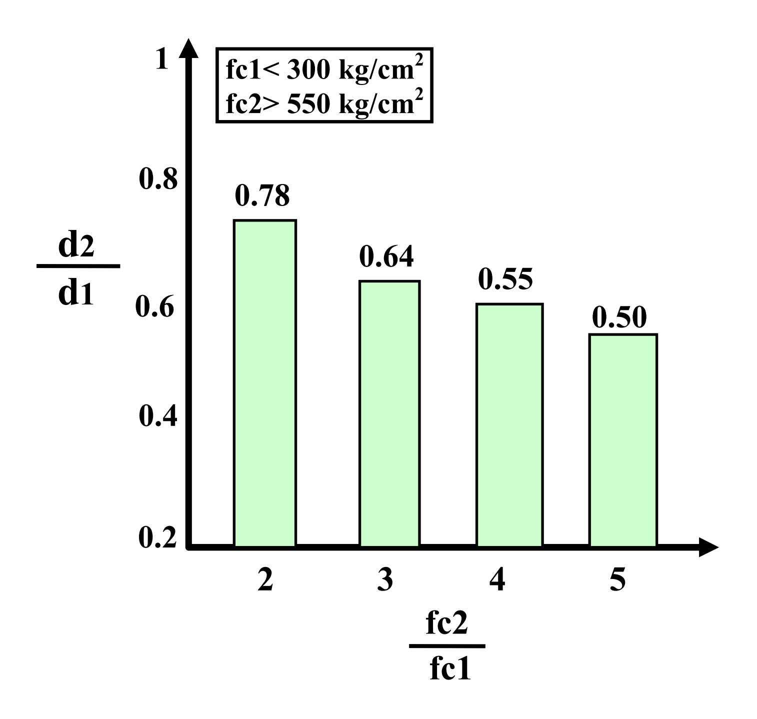
٤- أيضاً تتحقق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات وذلك بزيادة بحر الكمرة عند ثبات الحمل المؤثر وثبات القطاع الخرسانى. فقد وجد أنه يمكن زيادة بحر الكمرة إلى ١,٨ مرة عندما تزيد مقاومة الضغط للخرسانة ٤ مرات.

٥- شكل (٣-١٢) يوضح تحقيق الجدوى الفنية من استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى الكمرات من خلال زيادة السعة التحميلية للكمرة عند ثبات القطاع وزيادة نسبة حديد التسليح. فنجد أنه بزيادة مقاومة الضغط للخرسانة أربع مرات فإن السعة التحميلية لها تتضاعف ٣,٢٤ مرة.

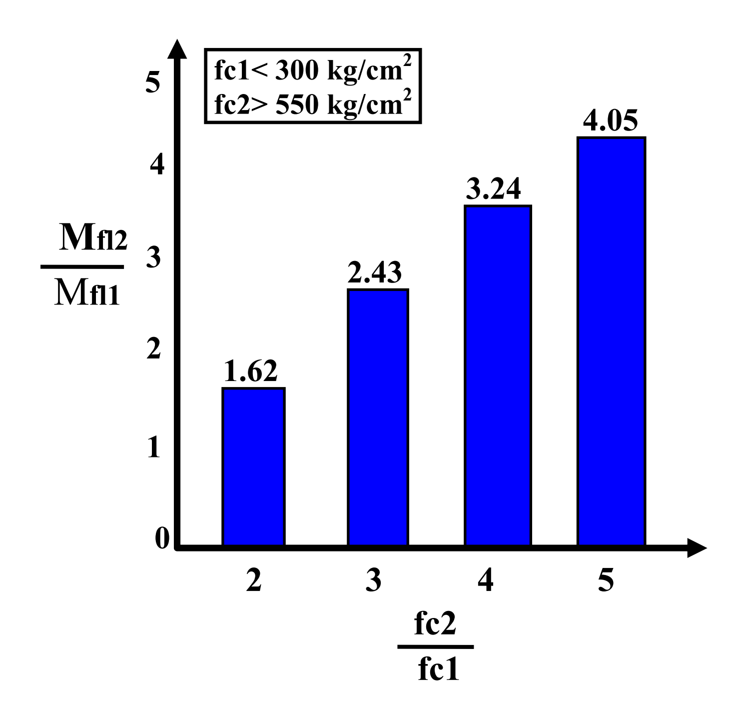
٦- يمكن إجراء تخفيض جزئي لكلٍ من عرض وعمق القطاع فى آن واحد كما هو مبين بشكل (٣-١٣) وذلك حتى يتم إسيفاء شروط التشغيل المختلفة.



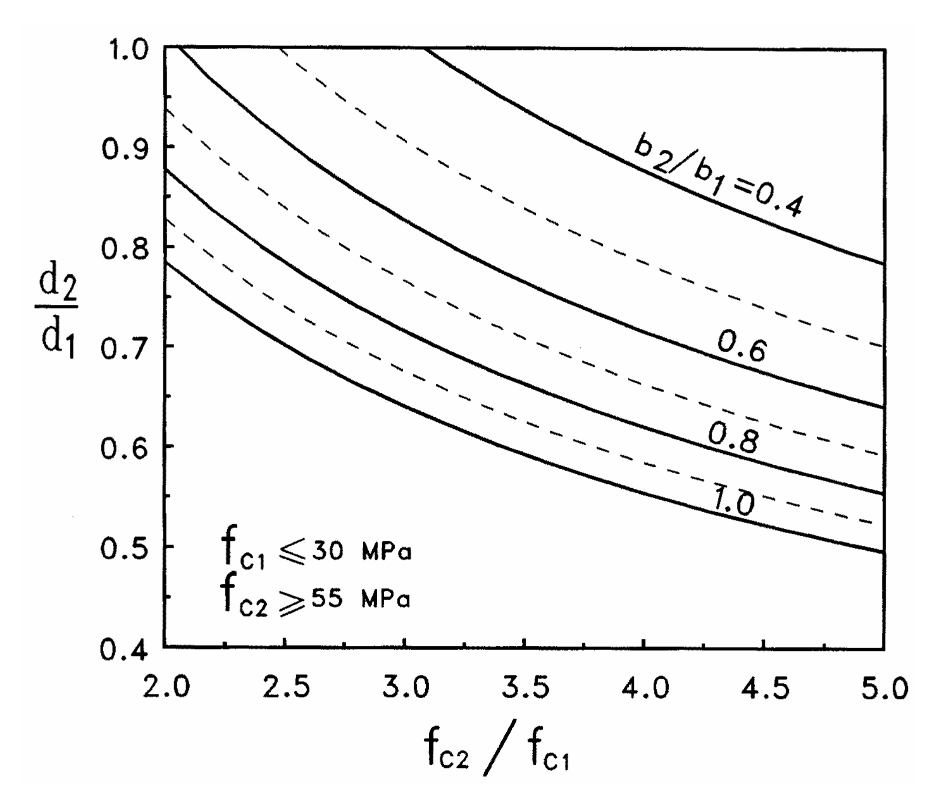
شكل (٣-١٠) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على نسبة الحديد الرئيسي فى الكمرات.



شكل (٣-١١) تأثير الخرسانة عالية المقاومة فى تقليل عمق القطاع فى الكمرات.



شكل (٣-١٢) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على السعة التحميلية للكمرات.



شكل (٣-١٣) تأثير الخرسانة عالية المقاومة على كلٍ من عرض وعمق القطاع فى الكمرات.

٣-٥-٤ المميزات العامة للخرسانة عالية المقاومة:

١- مقاومة الضغط فيها من ٦٠٠ إلى ١٤٠٠ كج/سم٢ (٥-٧ مرات مقاومة الخرسانة التقليدية).

٢- معاير المرونة يساوى تقريبا مرتين إلى مرتين ونصف معاير المرونة للخرسانة التقليدية مما يساعد فى تقليل الترخيم Deflection والتشكل Deformation.

٣- تمتاز بمتانة عالية Durability ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات.

٤- الفوائد الناتجة منها (مثل تقليل القطاعات وزيادة الأبحر وتقليل الوزن) أكثر من الزيادة فى تكاليف إنتاجها.

٥- تعطى مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الثمن - وبالنسبة لوحدة الحجوم - وبالنسبة لوحدة الوزن Strength / unit Cost – Strength / unit volume - Strength / unit weight

ويمكن توضيح النقطة السابقة كما يلي:

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الثمن

خرسانة ذات مقاومة ٢٠٠ كج/سم٢ تتكلف مثلاً ٢٠٠ جنيه/م٣ يعنى ١,٠ كج/سم٢/جنيه.
بينما خرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم٢ تتكلف ٣٠٠ جنيه/م٣ أى ٢,٠ كج/سم٢/جنيه.

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الحجوم

قاعدة عمود من خرسانة مقاومتها ٢٠٠ كج/سم٢ يكون حجمها حوالى ٤م٣ يعنى ٥٠ كج/سم٢/م٣.
بينما قاعدة من خرسانة مقاومتها ٦٠٠ كج/سم٢ يكون حجمها حوالى ٢م٣ يعنى ٣٠٠ كج/سم٢/م٣.

- مقاومة عالية بالنسبة لوحدة الوزن

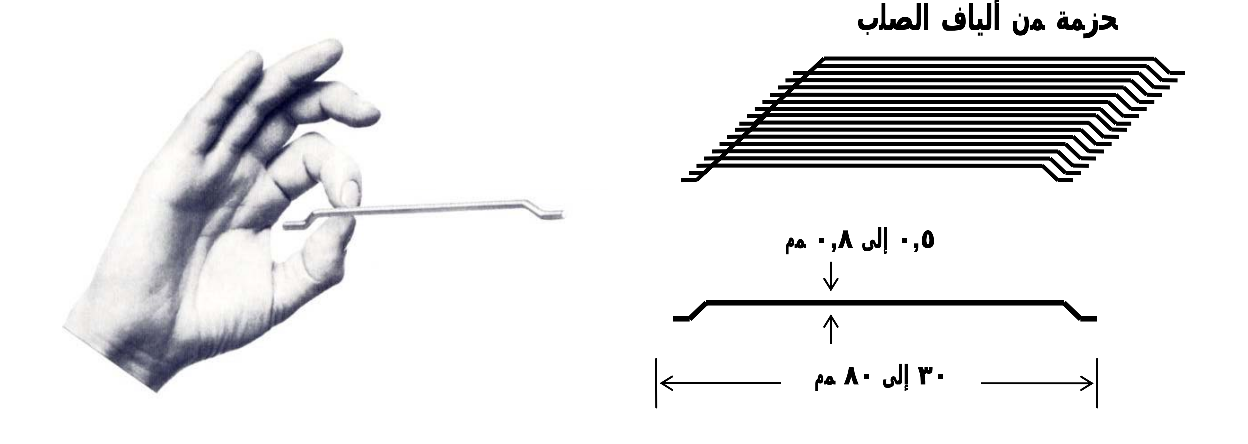
عمود من خرسانة ذات مقاومة ٢٠٠ كج/سم٢ يكون وزنة حوالى ٤ طن يعنى ٥٠ كج/سم٢/طن.
بينما عمود من خرسانة مقاومتها ٦٠٠ كج/سم٢ يكون وزنة حوالى ٣ طن أي ٢٠٠ كج/سم٢/طن.

ومن عيوب الخرسانة عالية المقاومة أنها أكثر قصافة Brittleness من الخرسانة التقليدية والانهيار بها مفاجئ حيث يكون الكسر فيها خلال الركام الكبير وليس حوله كما فى الخرسانة التقليدية ويمكن التغلب على هذه المشكلة بطرق عديدة منها استخدام الألياف مع الخرسانة. كذلك فإن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يتطلب درجة عالية من ضبط الجودة والتحكم فيها.

٣-٦ الخرسانة الليفية Fiber Concrete

وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع:

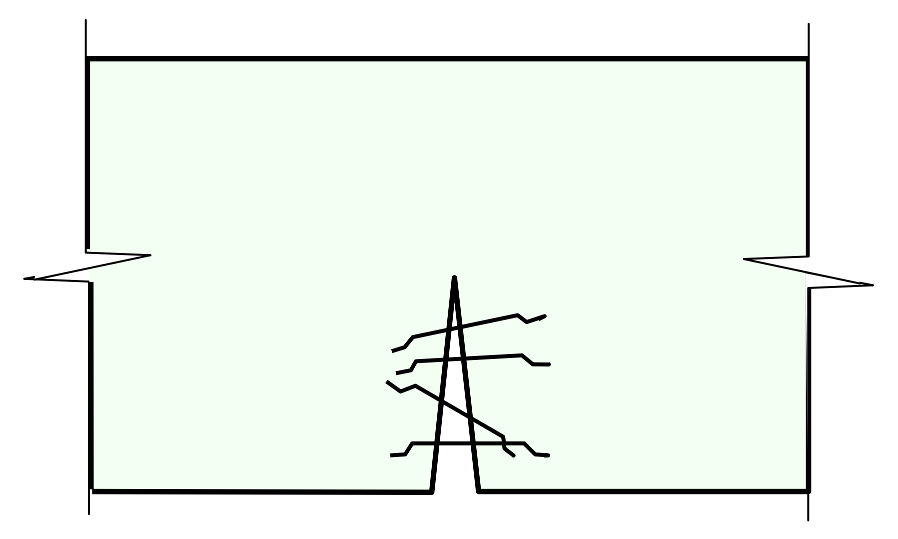
- ألياف الصلب وهى قطع من الصلب بطول ٣ إلى ٨سم وقطر من ٠,٥ إلى ٠,٨ مم كما بالشكل (٣-١٤).
- والألياف الصناعية مثل ألياف البولى بروبلين والبوليستر والبوليثيلين والأكريلك وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب ولكنها مصنعة من مواد صناعية.



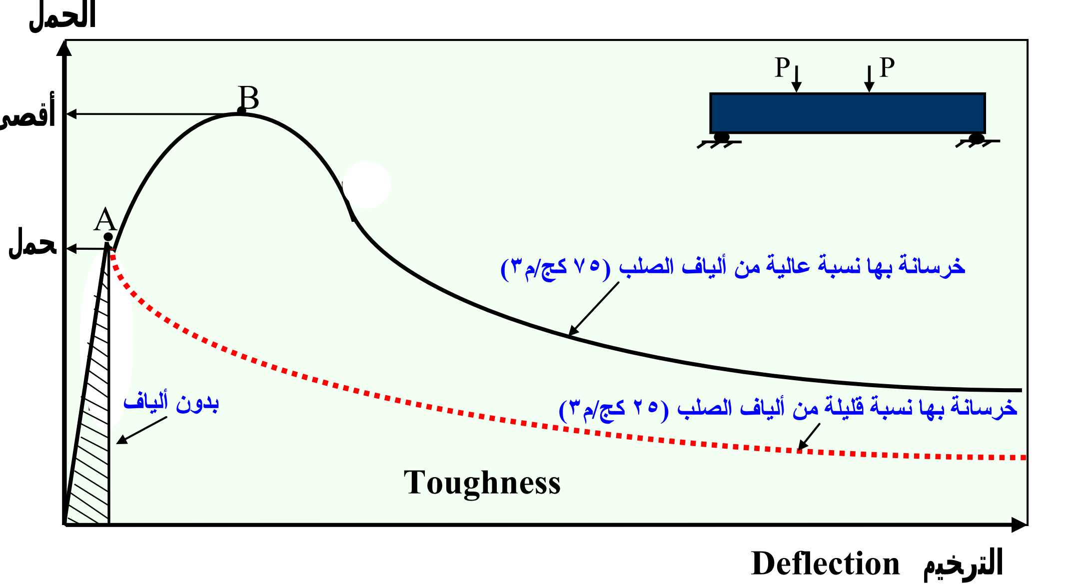
شكل (٣-١٤) ألياف صلب غير مستقيمة الأطراف.

والألياف لها القدرة على تحسين مقاومة الخرسانة فى القص والشد والانحناء والصدم والانكماش. كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها كما يتضح ذلك من الرسم الكروكى بشكل (٣-١٥)، ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط. وأهم وظيفة للألياف أنها تزيد من قيمة معاير المتانة للمادة زيادة كبيرة جداً. شكل (٣-١٦) يوضح منحنى الحمل والتشكل للخرسانة الليفية ومدى زيادة المتانة Toughness فى الخرسانة الليفية. وبالتالى فهي تحول ميكانيكية الكسر فى الخرسانة من كسر قصف مفاجئ وخطر Dangerous Sudden Failure إلى كسر غير قصف وتدريجي Ductile Failure. شكل (٣-١٧) يوضح مقارنة بين كمرتين متشابهتين من الخرسانة المسلحة (بدون كانات) أحدهما بدون ألياف والأخرى تحتوى على ألياف. ويتضح التأثير الكبير والفعال للألياف فى مقاومة قوى القص وزيادة معاير المتانة Toughness. وتستخدم الخرسانة الليفية على نطاق واسع فى الطرق والمطارات والمنشآت العسكرية وقواعد الماكينات. كما تستخدم فى الأسقف القشرية ومناطق

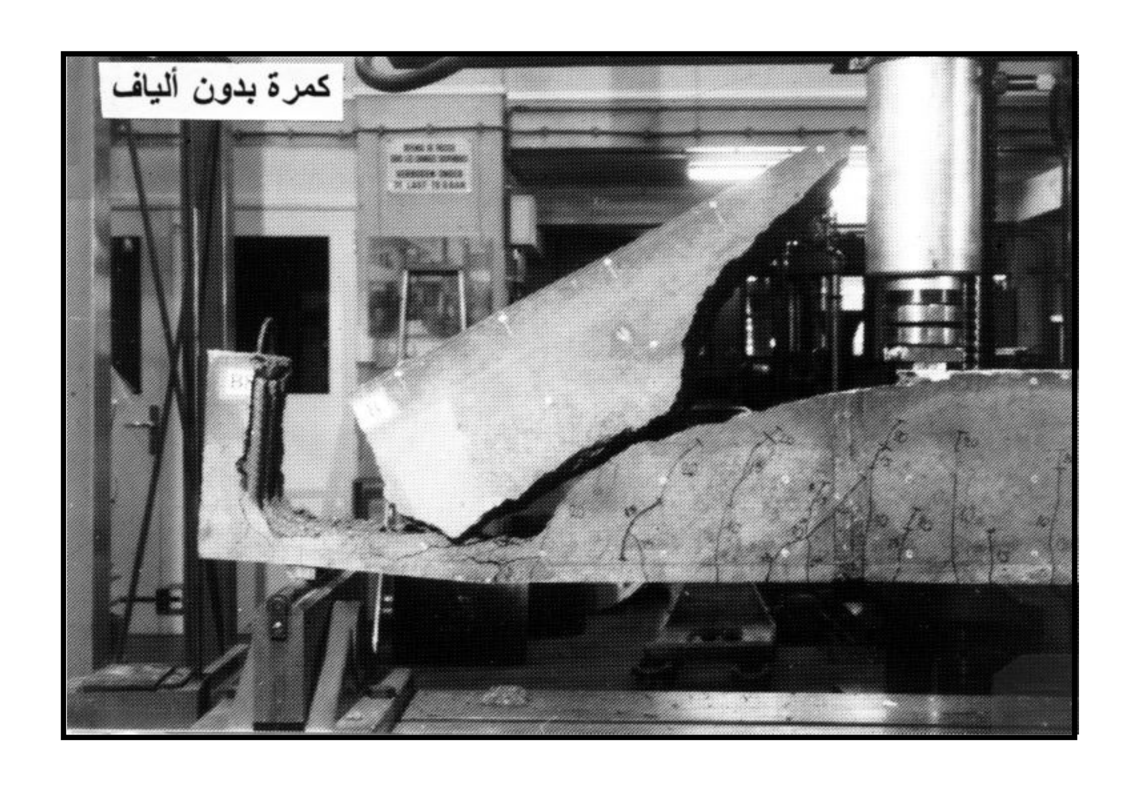
الاتصال بين الكمرة والعمود فى الإطارات. وتستخدم الألياف أيضاً فى المواسير الخرسانية والوحدات سابقة الصب و فى العناصر الخرسانية المعرضة لقوى القص والصدم. وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد فى الانحناء إلا أن هذه الزيادة غير جديرة بالاعتبار وبالتالى فإنه ليس من الحكمة أن تستخدم الألياف كبديل كلى أو إستعواضى لأسياخ صلب التسليح.



شكل (٣–١٥) دور الألياف فى تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها .



شكل (٣–١٦) منحنى الحمل والتشكل للخرسانة الليفية.





شكل (٣–١٧) تأثير الألياف الفعال فى مقاومة قوى القص وزيادة المتانة.

٣-٧ الخرسانة ذاتية الدمك Self-Compacting Concrete

٣-٧-١ تعريف :

الخرسانة ذاتية الدمك هى الخرسانة التى لها درجة عالية من السيولة والإنسياب Deformability كما أن لها مقاومة عالية للإنفصال الحبيبى Stability ويمكن صبها بنجاح فى القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح Filling Capacity وذلك بدون الإستعانة بأى وسيلة دمك خارجية.

وتعتبر الخرسانة ذاتية الدمك نتاج التقدم التكنولوجي فى مجال إضافات الخرسانة حيث تعتبر كل من إضافات تحسين اللزوجة وإضافات تقليل ماء الخلط (الملدنات الفائقة) هما العنصرين الأساسيين اللازمين لإنتاج هذه الخرسانة. ويعتبر اليابانيون هم رواد صناعة هذه الخرسانة حيث قاموا فى السنوات العشر الأخيرة باستخدامها فى منشآت وتطبيقات عديدة ومفيدة. بعد ذلك تم إنتاج هذه الخرسانة فى العديد من الدول مثل تركيا وأمريكا. وفى مصر تم حديثاً إجراء بعض الأبحاث فى جامعة المنصورة لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام المواد المحلية كما تم دراسة المتطلبات الخاصة للقابلية للتشغيل وكذلك الاختبارات الخاصة والضرورية لهذه الخرسانة. وبصفة عامة فلقد أظهرت نتائج الاختبارات إمكانية صناعة الخرسانة ذاتية الدمك بالمواد المحلية المتاحة فى مصر بدرجة نجاح عالية. والبحث رقم ٣٨ بقائمة المراجع يختص بهذا الموضوع.

٣-٧-٢ الخواص المطلوب تحقيقها فى الخرسانة ذاتية الدمك:

أولاً: درجة إنسياب وسيولة عالية High Deformability

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- زيادة سيولة العجينة --- باستخدام الملدنات الفائقة و/أو استخدام نسبة عالية من ماء الخلط.

٢- تقليل الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات --- بتقليل نسبة الركام الكبير فى الخلطة و/أو استخدام نسبة من البودرة الناعمة المتدرجة.

ثانياً: درجة مقاومة عالية للإنفصال الحبيبى Good Stability

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- تقليل الانفصال بين المواد الصلبة فى الخلطة عن طريق --- تقليل المقاس الإعتبارى الأكبر للركام و/أو تقليل نسبة الركام و/أو استخدام إضافات تحسين اللزوجة و/أو تقليل نسبة ماء الخلط.
٢- تقليل النضح (الماء الحر) إلى أقل درجة ممكنة عن طريق --- استخدام نسبة أقل من ماء الخلط و/أو استخدام بودرة ذات مساحة سطحية عالية و/أو زيادة نسبة إضافات تحسين اللزوجة.

ثالثاً: لها قدرة عالية على الصب والملء فى القطاعات الضيقة أو المزدحمة بحديد التسليح وذلك تحت تأثير وزنها وبدون حدوث إنسداد أو توقف للخرسانة Blockage

ويتحقق ذلك بالآتي:

١- أن يكون لها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي أثناء صب وتدفق الخرسانة عن طريق --- استخدام إضافات تحسين اللزوجة و/أو تقليل نسبة ماء الخلط.
٢- التوافق بين مقاس القطاعات والمسافة بين الأسياخ من ناحية ومقاس الركام الكبير ونسبته فى الخلطة من ناحية أخرى وذلك عن طريق --- تقليل المقاس الإعتبارى الأكبر للركام و/أو تقليل نسبة الركام فى الخلطة.

٣-٧-٣ *مميزات الخرسانة ذاتية الدمك:*

١- سهولة الصب فى القطاعات المزدحمة بحديد التسليح والقطاعات الضيقة.
٢- القدرة على صب كمية كبيرة من الخرسانة فى فترة زمنية قصيرة.
٣- تحتاج عمالة أقل.
٤- لا يوجد بها إنفصال حبيبى.
٥- لا تحتاج إلى إستخدام هزازات فى الموقع مما يؤدى إلى سهولة الصب والتغلب على مشكلة الضوضاء الناتجة عن الهزازات.
٦- لها شكل ومظهر أفضل كما أنها لا تحتاج إلى تسوية سطحها بعد صبها .
٧- لا تعطى فرصة للتدخل فى الموقع لإضافة ماء للخلطة نظراً لسيولتها.
٨- أكثر معمرية من الخرسانة التقليدية.

٣-٧-٤ الاختبارات المطلوبة والغرض منها:

وتجدر الإشارة أنة بالنسبة للخرسانة ذاتية الدمك فإن تحقيق متطلبات وخواص الخرسانة الطازجة يكون له الأولية إذا قورن بمتطلبات وخواص الخرسانة المتصلدة حيث تعتبر المرحلة الطازجة هنا هى الغاية المنشودة ومن ثمّ توجد إختبارات خاصة لقياس خواص المرحلة الطازجة من الخرسانة ذاتية الدمك وفيما يلى نبذة مختصرة وسريعة عن بعض هذه الإختبارات:

١- إختبار الإنسياب الحر Slump Flow

وذلك لقياس الإنسياب الحر فى حالة عدم وجود عوائق فى طريق الخرسانة. ويستخدم فى ذلك جهاز مخروط الهبوط التقليدى الموضح فى الباب السابع من هذا الكتاب. ويلزم أن يكون قطر الإنسياب فى حدود من ٦٠ إلى ٧٠سم.

٢- إختبار إنسياب الخرسانة فى القمع V-Funnel Test

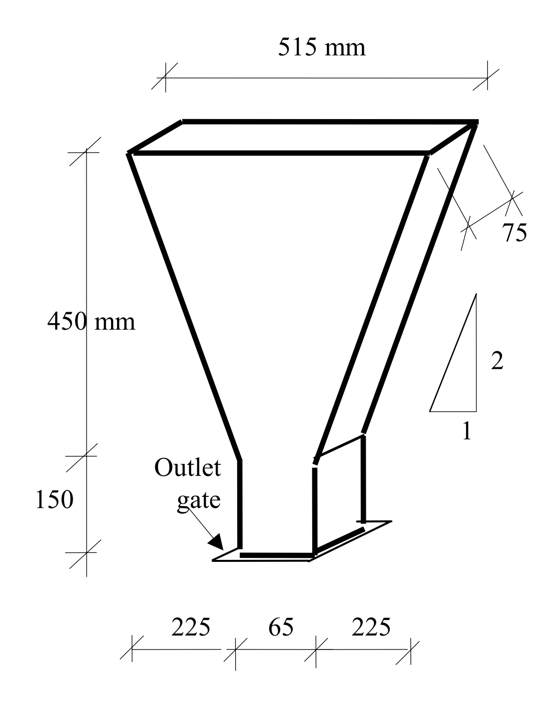
ويقيس قدرة الخرسانة على تغيير مسارها والإنتشار خلال منطقة ضيقة بدون حدوث إنسداد أو توقف. ويستحدم لذلك الجهاز الموضح بشكل (٣-١٨) حيث يتم قياس زمن مرور الخرسانة بالكامل فى القمع ، وهذا الزمن يجب أن لا يتجاوز عشر ثوان.

٣- إختبار القدرة على الصب والملء Filling Capacity

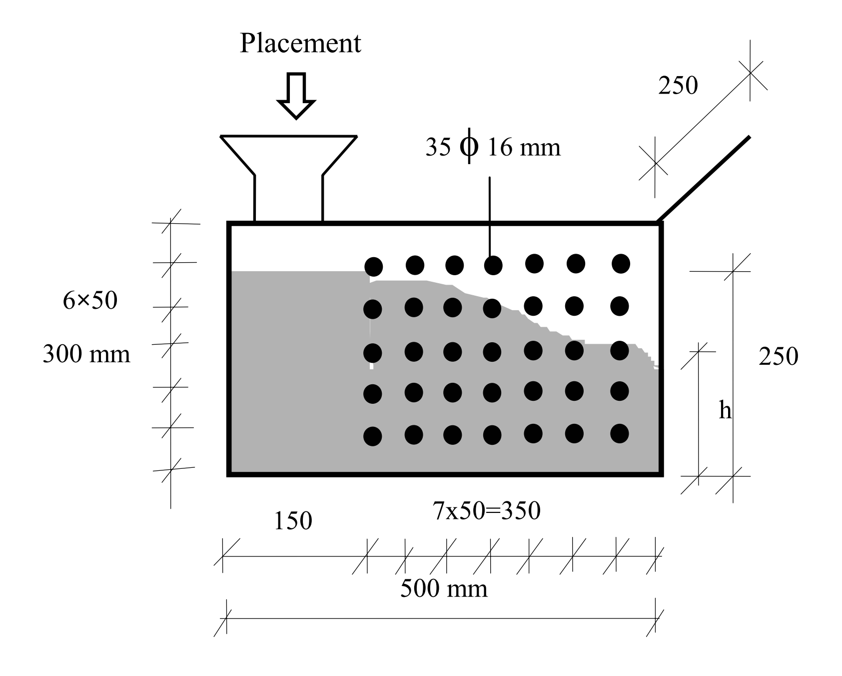
وذلك لقياس قدرة الخرسانة على الصب والتدفق فى وجود منطقة مزدحمة بحديد التسليح دون حدوث توقف أو إنسداد للخرسانة. ويستخدم فى ذلك جهاز خاص كما هو مبين بشكل (٣-١٩) حيث يتم قياس النسبة المئوية للخرسانة التى تملء الصندوق والتى ينبغى أن لاتقل عن ٨٠%.

٤- رصد الهبوط فى سطح الخرسانة Surface Settlement

وذلك لقياس الثبات فى الخرسانة بعد الصب وحتى حدوث التصلب. حيث ينبغى بقاء الركام معلق فى العجينة دون حدوث هبوط. وتستخدم أجهزة القياس الميكانيكية للتحكم فى رصد الحركة النسبية لسطح الخرسانة.



شكل (٣-١٨) الجهاز المستخدم فى إختبار إنسياب الخرسانة فى القمع **V-Funnel Test**



شكل (٣-١٩) الجهاز المستخدم فى إختبار القدرة على الصب والملء **Filling Capacity Test**

٣-٨ الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش) Shotcrete

هى خرسانة (أو مونة) تقذف بضغط الهواء من فوهة القاذف بسرعة عالية إلى السطح المراد تغطيته بالخرسانة. وتستخدم غالبا فى أعمال الإصلاحات والترميم Repair وتبطين الأنفاق Tunnels وتبطين الترع وفى كثير من الأحوال التى يصعب فيها إستخدام الطرق التقليدية فى الصب فمثلاً عندما يكون مطلوب صب طبقات غير سميكة أو متغيرة السمك أو عندما يصعب الوصول إلى منطقة العمل أو عندما يكون إستخدام الشدات صعباً أو مكلفاً. كما تستخدم الخرسانة المقذوفة فى إصلاح الخرسانة المتداعية فى الكبارى والأهوسة والسدود والمنشآت المواجهة للمياه وكذلك مبانى الطوب المتآكلة. كما تستخدم فى تبطين الأفران بكافة أنواعها.

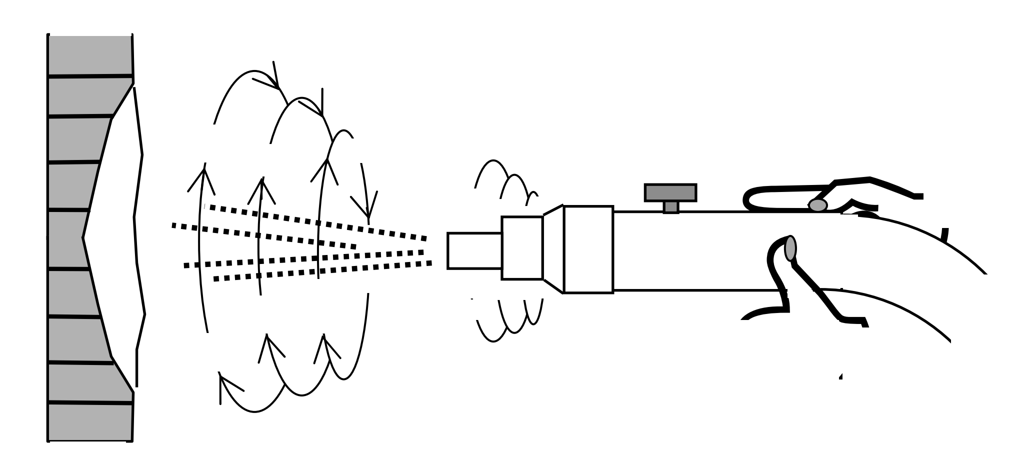
ويوجد نوعين رئيسيين لطريقة تنفيذ الخلطة ، أسلوب الخلط الجاف وأسلوب الخلط المبتل. ففى الطريقة الجافة يتم خلط الركام و الأسمنت وأى مكونات أخرى على الجاف أولاً وتدفع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف ثم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى السطح المراد صبه. أما فى الطريقة الرطبة فيتم خلط جميع المكونات بما فيها الماء خلطاً جيداً أولاً (ماعدا معجلات الشك إن وجدت) ويدفع الجميع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف إلى السطح المراد قذفه. وفى جميع الأحوال يلزم إعداد السطح المقذوف عليه الخرسانة لضمان جودة ترابطها معه. ويمكن القول أن خواص وسلوك الخرسانة المقذوفة يعتمد كثيراً على صفات المعدات المستخدمة وعلى مهارة القائمين بها كما يعتمد على الظروف التى يتم بها الصب.

و تتميز خلطة الخرسانة المقذوفة بإحتوائها على محتوى أسمنت أعلى لتعويض نسبة الفقد منه عند الإرتداد من السطح. كذلك فإن ركامها يتميز بصغر المقاس حيث يفضل أن لايزيد عن ١٢ مم. كما أنها قد تحتوى على إضافات معينة (ماعدا المؤجلات Retarders) لتحسين بعض الخواص المرغوبة وغالباً فإن الخرسانة المقذوفة تحتوى على المعجلات Accelerators وذلك لتسريع عملية الشك للخرسانة المقذوفة. ويفضل أن تكون فوهة القاذف عمودية على السطح المقذوف ولا تتعدى زاوية ميل القاذف على السطح ٤٥ درجة وذلك لضمان التوزيع المنتظم للخرسانة ولتجنب حدوث تكور و دحرجة للخرسانة على السطح مما يؤدى إلى سطح متعرج غير منتظم. كما يفضل أن تكون المسافة بين فوهة القاذف والسطح فى حدود ٠,٦ إلى ١,٨ متر. شكل (٣-٢٠) ، شكل (٣-٢١) يوضحان إستخدام الخرسانة المقذوفة و التحكم فى القاذف.

ويعيب هذه الخرسانة تعرضها للإنكماش بقيمة كبيرة نتيجة لكثرة كمية الماء بها وكذلك زيادة محتوى الأسمنت مع نقص الركام الكبير. كما يعيب هذه الخرسانة أيضاً إحتمال عدم الإلتصاق والتماسك التام بمادة السطح الذى ترش فوقة وللتغلب على مشكلة الإنكماش يمكن إستخدام الألياف مع هذه الخرسانة والتى أثبتت نجاحاً كبيراً فى الوقت الحال.



شكل (٣-٢٠) صورة توضح إستخدام الخرسانة المقذوفة فى أحد الأنفاق.



حركة دورانية خفيفة فى فوهة الدفع لإنتاج خرسانة مقذوفة جيدة

شكل (٣-٢١) كروكى يوضح طريقة قذف الخرسانة والتحكم فى فوهة الدفع.

٣-٩ الخرسانة البوليمرية Polymer-Concrete

البوليمر أو الراتنج هو إسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئى المرتفع والجزئ الواحد من هذه الجزيئات يسمى مونومر.

أما الخرسانة الراتنجية فهى خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التى تعمل كمواد لاحمة أومالئة للفراغات بين حبيبات الركام. وتمثل المواد البوليمرية حوالى ٦ إلى ١٥% من وزن الخرسانة ومن أمثلتها مواد أو مركبات البوليستر Polyester و الأيبوكسى Epoxy وقد تصل تكاليف خرسانة البوليمرز حوالى من ٢ - ٣ مرات تكاليف الخرسانة العادية وتمتاز بالآتى:

- مقاومة عالية للعوامل الخارجية مثل مقاومة التآكل ونفاذ الماء والمقاومة للكبريتات.
- مقاومة عالية جداً للإنكماش.
- مقاومة ضغط عالية قد تصل إلى ١٢٠٠ كج/سم٢
- مقاومة شد تصل إلى ١٠٠ كج/سم٢

وعموماً يوجد ثلاثة أنواع رئيسية من الخرسانة المحتوية على راتنجات:

١- الخرسانة البلاستيكية	(PC)	Plastic Concrete
٢- الخرسانة البوليمرية الأسمنتية	(PCC)	Polymer Cement Concrete
٣- الخرسانةالأسمنتية المحقونة بالبوليمرات	(PIC)	Polymer Impregnated Concrete

٣-٩-١ الخرسانة البلاستيكية PC

وفيها تحل الراتنجات محل الأسمنت كمادة رابطه لجزيئات الركام. أى أنها عبارة عن ركام متماسك مع بعضه بواسطة مادة رابطة من البوليمرات. والخرسانة البلاستيكية لها خواص ميكانيكية عالية وزمن معالجتها قصير ولها إنكماش متناهى فى الصغر ومقاومة عالية للكيماويات وتتوقف الخواص على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة ومن أهم الأنواع المستخدمة:

- الأيبوكسى
- البولى إستر
- الفينول فورمالدهيد
- فورفورال أستيون

وهذه الخرسانة لها مقاومة تزيد بدرجة كبيرة عن الخرسانة الأسمنتبة وتتوقف الزيادة على نوع الراتنج المستخدم وكميته فى الخلطة (أنظر شكل ٣-٢٢).

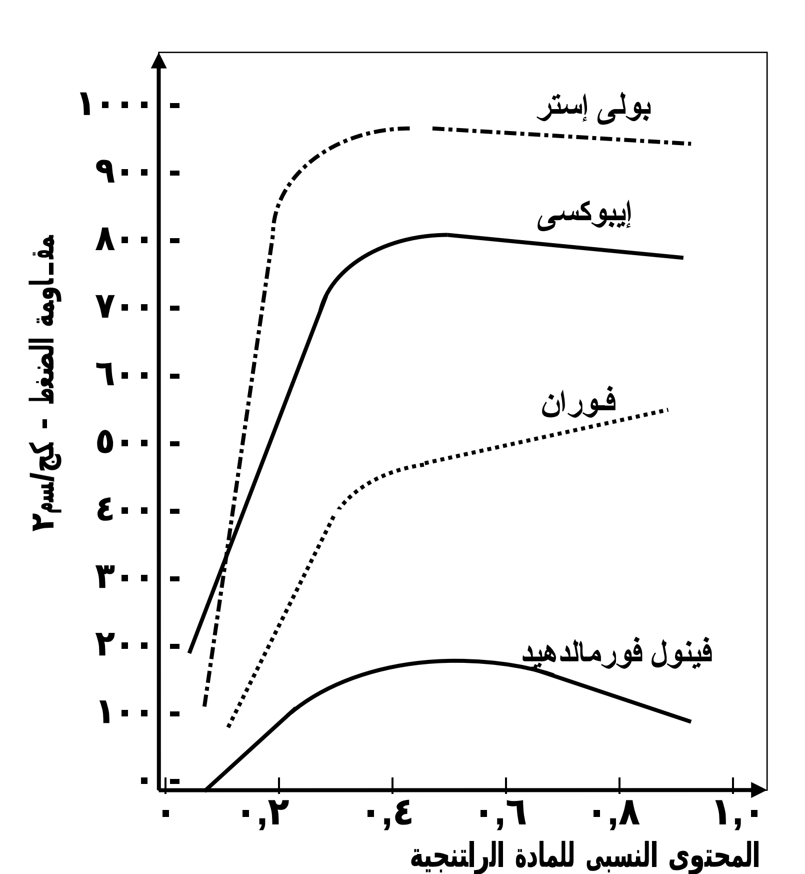
أهم تطبيقات الخرسانة البلاستيكية

١- طبقة حماية سطحية لأسطح الكبارى والمصانع وأماكن الخدمات والسلالم والخرسانة المسلحة و سابقة الإجهاد.

٢- ترميم الخرسانات التى حدث بها شروخ نتيجة الحرارة أو الإنكماش أو الأهتزازات.

٣- لصق الخرسانة الحديثة والقديمة أو الوحدات سابقة الصب.

٤- لصق الخرسانة على المعادن كطريقة للتقوية والتسليح الخارجى.



شكل (٣-٢٢) مقاومة الضغط لبعض الأنواع من الخرسانة البلاستيكية.

٣-٩-٢ الخرسانة البوليمرية الأسمنتية PCC

وهى التى تصنع بخلط الأسمنت والركام ويضاف اليها ماء الخلط المضاف إلية الراتنج. أى أنها خرسانة تقليدية مع إحلال جزء من ماء الخلط بواسطة مواد راتنجية. والراتنج المضاف يكون فى عبوتين: إحداهما تحتوى على المونومر والأخرى تحتوى على المصلد اللازم للتفاعل الكيميائى وإتمام عملية البلمرة (إتحاد الجزيئات) وتتم عملية البلمرة أثناء عملية التصلد للخرسانة. ومن ثم تتكون شبكة مستمرة من البوليمرات تملء أغلب فراغات الخرسانة. ويجب لذلك الحذر بأن لاتعطل عملية البلمرة طور الإماهة للأسمنت. ومن أهم المونومرات الشائعة الإستخدام كإضافة للخرسانة:

١- فينيل اسيتات	٢- الإكريلات
٣- فينيل كلوريد	٤- مستحلبات البيتومين
٥- المطاط	٦- الإيبوكسيات

وتجدر الإشارة إلى أن العلماء الروس قد توصلوا إلى خرسانة أسمنتية بوليمرية ذات خواص عالية وذلك بإدماج فورفريل الكحول "Furfryl Alcohol" وهيدروكلوريد الإيثيلين فى خليط الخرسانة مما نتج عنه خرسانة كثيفة ومعدومة الإنكماش تقريباً وذات مقاومة عالية للصدأ وذات مسامية منخفضه ومقاومة للإهتزازات. وعموما فإن النتائج التى تم الحصول عليها نتيجة إستخدام المونومرات كإضافات للخرسانة العادية أثناء الخلط قد أعطت تأثيرا محدودا على خواصها الميكانيكية وإن كان التأثير أكثر وضوحا على القوام والقابلية للتشغيل.

٣-٩-٣ الخرسانة الأسمنتية المحقونة بالبوليمرات PIC

وهى الخرسانة الأسمنتية المتصلدة والتى سبق صبها ويتم حقنها أو غلغلتها بواسطة مونومرات ذات لزوجة منخفضة ثم تتم البلمرة لهذه المونومرات بعد ذلك وهى داخل الخرسانة وتنقسم إلى ثلاثة أنواع:

أ - الخرسانة المغلغلة كليا :

وتستخدم لمقاومة درجات الحرارة العالية أو عند التعرض إلى المياه المالحة. وفيها يتم بدء تنشيط عملية البلمرة وذلك أما بالإشعاع Radiation أو بالحرارة Thermal method وأهم المونومرات التى تستخدم فى هذه الطريقة هى:

- المثيل ميثا كريلات	Methyl methacrylate
- الستيرين	Styrene
- الكلوروستيرين	Chlorostyrene

وقد أوضحت التجارب أن الخرسانة المغلغلة بالمثيل ميثاكريلات والتى تتم بلمرتها بالإشعاع لها مقاومة ضغط تصل إلى حوالى ٣٠٠ % عند درجة تشبع بالبولميرات مقدارها ٦,٦ %. وأوضحت النتائج أيضا أن هناك زيادة وتحسينات مناظرة لكل من مقاومة الشد ومعاير المرونة ومقاومة التجمد والذوبان ومقاومة البرى والتفاذية ومقاومة الكيماويات.

ب - الخرسانة المغلغلة جزئيا:

وقد تم عمل هذه الخرسانة كأسلوب لتبسيط عملية الغلغلة وتقليل التكاليف وذلك لإستيفاء التطبيقات التى تتطلب المتانة أكثر من القوة وأهم المواد المستخدمة فى هذه الطريقة هى البولى إسترسترين و الميثيل ميثاكريلات وتتأثر خواص الخرسانة الناتجة بدرجة كبيرة بعمق الغلغلة بالبوليمر وبالتالى مقدار التشبع به. وبصفة عامة فإن الخرسانة المغلغلة جزئيا تعطى نتائج عالية جداً وإن كانت أقل نسبيا من الخرسانة المغلغلة كليا.

ج - الخرسانة المغلغلة سطحيا:

وهى شبيهة بالخرسانةالمغلغلة جزئيا وإن كانت المونومرات المستخدمة فى هذه الطريقة لها لزوجة منخفضه وبالتالى فهى أكثر تطاير ولها معدلات بطيئة فى الإختراق داخل الخرسانة وهذه الطريقة من الغلغلة مناسبة لكبارى الطرق السريعة.

تطبيقات الخرسانة المغلغلة بالبوليمر

١- خرسانة محطات تنقيه المياه المالحة (مقاومة الحرارة + المواد الكيماوية)
٢- أرضيات الكبارى السابقة الإجهاد
٣- الدعامات الخرسانية لأسقف مناجم الفحم
٤- الأنفاق والمنشآت تحت الماء
٥- قواعد المضخات والمنشآت البحرية والخرسانات الخفيفة
٦- مواسير المجارى والضغط

٣-١٠ الخرسانة الخفيفة Lightweight Concrete

من أهم عيوب الخرسانة التقليدية (٢٢٠٠ إلى ٢٥٠٠ كج/م^{٣}) كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد أن الخرسانة التقليدية ثقيلة الوزن نسبياً حيث تكون نسبة الوزن الذاتى لأجزاء المبنى Own weight بالمقارنة مع الأحمال المؤثرة هى نسبة عالية فى جميع الأحوال. ولذلك تم التفكير فى إنتاج وإستخدام خرسانة خفيفة وزنها أقل من ٢٠٠٠ كج/م^{٣}. ولذلك فقد أمكن تصنيع خرسانة إنشائية تزن ١٤٠٠ إلى ١٩٠٠ كج/م^{٣} بزيادة بسيطة فى التكاليف وكذلك إنتاج خرسانة نصف انشائية للبلوكات الداخلية تزن ٩٠٠ كج/م^{٣} وتستعمل بكفاءة كحوائط داخلية. وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هى تلك التى يقل وزنها عن ٢٠٠٠ كج/م^{٣}. والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالى تقليل تكاليف الأساسات وكذلك لأغراض العزل الحرارى والصوتى.

أنواع الخرسانة الخفيفة

يمكننا تخفيض وزن الخرسانة عن طريق واحد أو أكثر من الطرق الآتية:

١- إيجاد فراغات بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete)

٢- إيجاد فراغات داخل الركام (خرسانة ذات ركام خفيف Lightweight Aggregate Concrete)

٣- إيجاد فراغات داخل العجينة الأسمنتية (الخرسانة المهواة أو الخلوية Cellular Concrete)

٣-١٠-١ خرسانة خالية من المواد الرفيعة Finless Concrete

تتكون من الأسمنت والركام الكبير فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو بإستعمال تدرجات خاصة من الركام. والركام الكبير يمكن أن يكون زلط أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف. وينحصر تدرج الركام بين ١٠ مم ، ٢٠ مم ولا تتعدى نسبة المار من المنخل الصغير عن ٥% وهذا النوع من الخرسانة ذو كثافة تتراوح من ٢/٣ إلى ٣/٤ كثافة الخرسانة التقليدية المصنوعة من نفس الركام. وهذا النوع يحتاج إلى تصميم دقيق وخصوصاً بالنسبة لمحتوى الماء.

٣-١٠-٢ خرسانة الركام الخفيف Lightweight Aggregate Concrete

خرسانة الركام خفيف الوزن هى أكثر أنواع الخرسانات الخفيفة شيوعاً وإستخداماً إذ يمكن إستعمالها كخرسانة إنشائية. والركام المستخدم فى الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو فى أغلب الأحوال ركام صناعى. وصناعة الركام تعتبر أحد أجزاء التصنيع للخرسانة الخفيفة ومن أمثلة الركام الخفيف:

- الطين الممد (الليكا)　　　- الفيرموكليت　　　- الفوم (بوليسترين)

شكل (٣- ٢٣) يوضح بعض أنواع الركام خفيف الوزن.

الصفات الواجب توافرها فى الركام الخفيف

١- يجب أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب والصفات.

٢- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات وزن نوعى منخفض.

٣- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات مقاومة مناسبة (عامل مؤثر على مقاومة الخرسانة).

٤- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الأسمنت.

٥- ,, ,, ,, ,, ,, ,, ذات مقاومة جيدة للعوامل الجوية.

٦- يجب أن تحتوى الحبيبات على أكبر عدد ممكن من الفراغات الداخلية الصغيرة المنفصلة وعلى أقل عدد ممكن من الفراغات الكبيرة المتصلة.

٣-١٠-٣ الخرسانة المهواة (ذات الخلايا) Cellular Concrete

وفى هذا النوع تتكون فقاعات من الغازات والهواء فى وسط الخرسانة وهى فى الحالة الطازجة ويظل التركيب مسامى بعد أن تشك الخرسانة. والطريقتين الرئيسيتين لإنتاج هذا النوع هما:

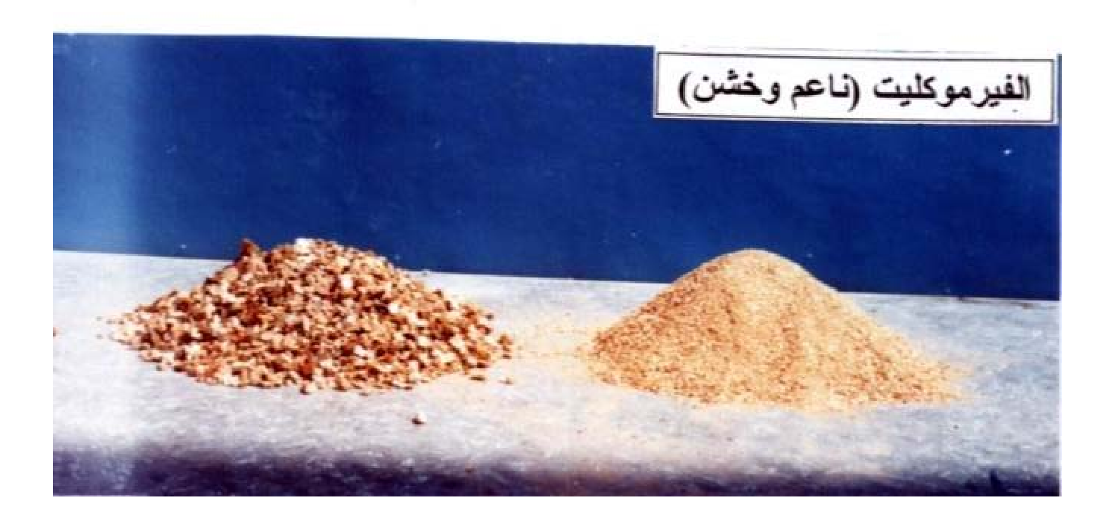
أ - انتاج غازات فى الخلطة بتفاعلات كيميائية

ب- إضافة مواد رغوية للخلطة.

ومن المواد الشائعة المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك (٠,٢% من وزن الأسمنت) وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة ذات تركيب خلوى. وتجدر الإشارةإلى أن هناك علاقة طردية بين وزن الخرسانة ومقاومتها للضغط.







شكل (٣-٢٣) بعض انواع الركام خفيف الوزن.

٣-١١ الخرسانة الثقيلة Heavy Weight Concrete

وهى خاصة بالوقاية من الإشعاع الذرى والنووى حيث تتناسب قدرة الخرسانة لإمتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها وبالتالى تكون حوائط وبلاطات الأرضيات والأسقف من الخرسانة الثقيلة. وتصنع الخرسانة الثقيلة من ركام من مواد ثقيلة من خامات الحديد أو خام الرصاص. وتجدر الإشارة أن خام الحديد يعطى خرسانة وزنها من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ كج/م٣ ، وقد تستخدم قطع من الحديد كركام وتصل كثافة خرسانتة الى ٥٦٠٠ كج/م٣. ومن الممكن أيضاً إستخدام النواتج الثانوية للفرن العالى مثل جلخ المحولات الأكسجينية وخردة سى لإنتاج خرسانة ذات كثافة حوالى ٢٨٠٠ كج/م٣. ويستخدم فى بعض الأحيان ركام من صخر السربنتين (سليكات الماغنسيوم المماهة) وبصفة عامة فلابد لركام الخرسانة ثقيلة الوزن أن يوفى بمتطلبات الكثافة والتركيب وذلك للوقاية من الإشعاع . ويستخدم الأسمنت البورتلاندى العادى ولكن يفضل الأسمنت منخفض الحرارة فى حالة الخرسانة الكتلية ثقيلة الوزن كما لا يستخدم الأسمنت سريع التصلد. أيضاً لا تستخدم إضافات المعجلات أو إضافات الهواء المحبوس وإنما يمكن إستخدام الملدنات و المؤجلات.

ونظراً لأن الركام المكون من قطع الحديد يميل دائماً إلى الإنفصال عند خلطه أو صبه بالطرق التقليدية فإنه يفضل إستخدام الخرسانة الثقيلة سابقة الرص Prepacked Concrete والتى تعتبر أكثر مناسبة فى هذه الحالة. وتصنع الخرسانة سابقة الرص من دفع وضخ المونة خلال فراغات ركام نظيف ومرصوص و مدموك جيداً و مشبع بالماء. وعندما تضخ المونة خلال القوالب أو الفرم فتزيح ما بها من ماء وهواء وتملأ الفراغات وبذلك تنتج خرسانة ذات كثافة عالية بها نسبة عالية من الركام. ويميز هذه الخرسانة سهولة صبها فى بعض المناطق أو الأحوال التى يصعب فيها صب الخرسانة التقليدية.

٣-١٢ الخرسانة الكتلية Mass Concrete

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أى خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الإحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من إماهة الأسمنت وما يتبع ذلك من إنكماش وتشريخ للخرسانة. ويستخدم فى الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالى ١٥ سم. ونظرا لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغى أخذ بعض الإحتياطات الضرورية مثل:

- **إستخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة Low heat.**
- **إستخدام محتوى قليل من الأسمنت خلطة فقيرة Lean mix.**
- **إحلال نسبة من ١٠ إلى ٢٠% من الأسمنت بمادة بوزولانية مثل غبار السلسكا أو الرماد المتطاير.**
- **إستخدام الثلج المجروش بدلاً من جزء من ماء الخلط و تسمى هذه العملية بالتبريد السابق.**
- **وجود مواسير رفيعة من الصلب رقيق الجدران داخل الكتلة الخرسانية تمرخلالها دورات من الماء البارد لخفض الحرارة و تسمى هذه العملية بالتبريد اللاحق.**
- **الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد أقصى واحد متر.**
- **العزل السطحى للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة (وليس خفض الحرارة) بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها.**

****

الباب الرابع

صناعة الخرسانة

Manufacture of Concrete

يمكن تقسيم المراحل التى تمر بها صناعة الخرسانة الى ثلاثة مراحل رئيسية هى:

١ - مرحلة ماقبل الصب (الإعداد) Preparation

أ ـ إختيار المكونات وتصميم الخلطات
ب ـ تشوين المواد
ج- إعداد الفرم والشدات
د ـ تحضير الكميات والعبوات

٢ - مرحلة الصب Fresh Concrete

أ ـ الخلط
ب- النقل
ج- الصب
د- الدمك
هـ ـ التشطيب

٣ - مرحلة ما بعد الصب Green Concrete

أ- المعالجة
ب- إزالة الفرم والشدات
ج- الترميم والبياض

٤-١ مرحلة الإعداد (قبل الصب) Preparation

أ – إختيار المكونات

- يتم تحديد وإختيار النوع المناسب من كل مادة فمثلاً نوع الأسمنت المناسب للعملية (بورتلاندى عادى أو مقاوم للكبريتات أو منخفض الحرارة أو ......) وكذلك نوع الرمل المناسب (ناعم أو خشن أو ...) وليس المقصود بكلمة المناسب هنا الناحية الفنية فقط وإنما جميع النواحى الأخرى مثل الناحية الإقتصادية مثلاً.
- المقاس المناسب للركام الكبير طبقاً لنوعية ومقاس قطاعات الخرسانة التى ستُصب (قواعد أو أعمدة أو لبشة).
- إمكانية إستخدام بعض الإضافات أم لا وفى أى مرحلة من الصب.
- عمل تصميم للخلطة المطلوبة وتحديد الكميات اللازمة من كل مادة بالوزن والحجم.

ب- التشوين

- يراعى التأكد من توافر كل المواد اللازمة للصبة الخرسانية قبل البدء فى الصب.
- يتم تشوين المواد فى الأماكن المناسبة وبالترتيب المناسب والتى تسهل نقلها إلى مكان الصب.
- يكون التشوين لكل مادة بالطريقة المنصوص عليها فى المواصفات فمثلاً:

الأسمنت: يشون على أرضيات خشبية مهواه ويكون فى حماية من رطوبة الجو والأرض والمطر ويجب أن لا يستخدم فى أعمال الخرسانة المسلحة أى أسمنت بدأت تتكون به حبيبات متصلدة أو كتل أو مضى على تشوينه أكثر من ثلاثة شهور. وطبقاً للكود المصرى فيجوز إستخدام الأسمنت لغاية ستة أشهر بعد التأكد من سلامته.

الرمل: يكون على أرضيات صلبة نظيفة وبعيداً عن المطر أو أى مواد ملوثة.

الزلط: يغسل لإزالة الشوائب منه ويشون على أرضيات خرسانية أو خشبية.

الماء: عدم الإعتماد على ماء الصنبور خشية حدوث أى عطل وإنما ينبغى تخزين الماء مسبقا فى موقع الصب فى أوعية لا تصدأ.

الإضافات: تحفظ فى مكان أمين فى درجة حرارة الغرفة وبعيد عن الرطوبة وأشعة الشمس المباشرة وتراعى جميع التعليمات الخاصة بكل مادة على حدة.

ج- إعداد الفرم والشدات

- يتم إختيار نوع الشدات المناسب للعملية (شدات عادية - شدات منزلقة - شدات صلب).
- تكون الشدات قوية لتتحمل وزن الخرسانة والأحمال الحية أثناء الصب.
- يجب أن ترتكز قوائم الشدات على قواعد ثابتة.
- أن تكون القوالب محكمة لمنع تسرب اللبانى من الخرسانة.
- يجب تربيط الركائز بحيث لا تؤثر عليها الصدمات الأفقية الناتجة عن حركة العمال أو المعدات الصغيرة وكذلك ضغط الرياح و الإرتجاجات الناتجة عن المعدات المستخدمة فى العمل.
- تُرش أسطح الفرم الخشبية بالماء قبل الصب مباشرة لمنع إمتصاص الأخشاب لماء الخلط.
- يجب إعداد مسارات للعمل بحيث لا تؤثر حركتها على أبعاد وأشكال حديد التسليح.
- يفضل و ضع تخانات تفصل بين سطح القوالب و الأسياخ.
- يجب أن تنظف الفرم من الداخل بعناية قبل رص أسياخ التسليح وقبل صب الخرسانة مباشرة وذلك بإزالة الأتربة والفضلات ويمكن أن يتم ذلك بإستخدام الماء أو الهواء المضغوط.

د- تحضير الكميات والعبوات

الأسمنت: يفضل أن تحتوى عبوة الخرسانة على عدد صحيح من شكاير الأسمنت ولايسمح بمعايرة الأسمنت بالحجم وفى حالة إستعمال الأسمنت السائب يجب قياس الأسمنت بالوزن.

الركام: يقاس بالحجم بصناديق قياس ويجب ملء الصناديق بدون دمك. ويراعى الزيادة فى حجم الرمل نتيجة الرطوبة أو البلل وفى الأعمال الإنشائية الهامة يفضل قياس الركام بالوزن.

المـــاء: يقاس باللتر أو بالكيلوجرام ويجب أن يؤخذ فى الإعتبار كمية الماء المحتمل وجودها فى الركام.

الإضافات: تحدد فى أغلب الأحيان بالوزن كنسبة من الأسمنت.

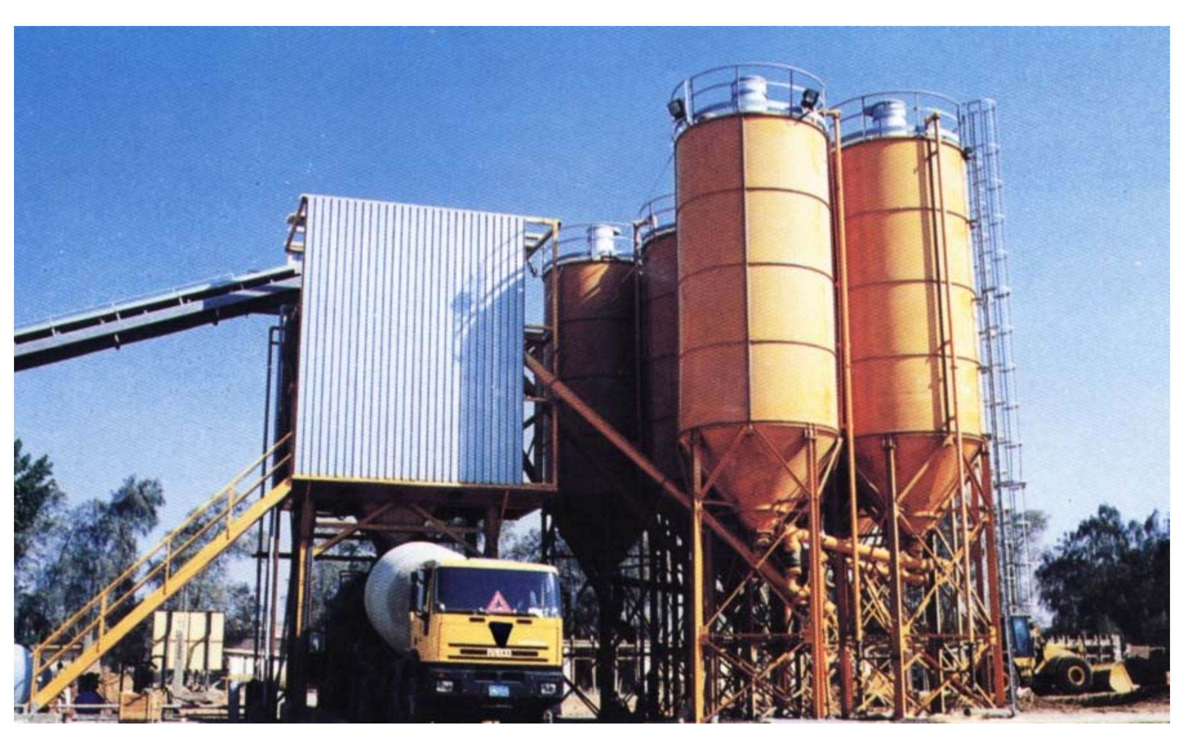
٤-٢ مرحلة الخرسانة الطازجة (الصب) Fresh Concrete

أ- الخلط

- نوع الخلط: يلزم خلط الخرسانة ميكانيكياً إما فى الموقع أو فى عربة خلط أو من خلال محطة خلط مركزية كما هو موضح بشكل (٤-١). أما شكل (٤-٢) فيوضح عربة سعة ١٠ متر مكعب لخلط ونقل الخرسانة ، بينما تظهر فى شكل (٤-٣) صورة لخلاطة موقع سعة ٠,٧٥ متر مكعب. و إذا دعت الضرورة القصوى لخلط الخرسانة يدويا فيتم ذلك بعد موافقة المهندس الإستشارى للمشروع وفى هذه الحالة يتم الخلط بتقليب المواد تقليباً جيداً بالنسب المطلوبة على طبلية مستوية صماء بواسطة الجاروف ذى الشداد ويلزم خلط الأسمنت مع الركام قبل وضع الماء ويقلب على ثلاث دفعات على الأقل ثم يضاف الماء تدريجيا بالقدر المطلوب للخلطة ويستمر التقليب والخلط حتى تتجانس الخلطة لوناً وقواما.

خلط فى الموقع		خلط أثناء النقل	خلط فى محطة مركزية بعيد عن الموقع
يدوى	ميكانيكى	ميكانيكى (عربة الخلط)	ميكانيكى

- زمن الخلط: يجب أن لا يقل زمن الخلط عن دقيقتين بعد وضع الأسمنت والركام أو لا يقل عن دقيقة واحدة بعد إضافة الماء. وذلك حتى يصبح الخليط متجانس فى اللون والقوام مع مراعاة عدم زيادة سرعة الخلاط عن السرعة المحددة له حتى لا يحدث إنفصال حبيبى كذلك لا يجب زيادة زمن الخلط عن ٥ دقائق لنفس السبب.



شكل (٤-١) محطة خلط مركزية لإنتاج الخرسانة.



شكل (٤-٢) عربة خلط خرسانة سعة ١٠ متر مكعب.



شكل (٤–٣) خلاطة موقع سعة ٠,٧٥ م٣.



شكل (٤–٤) طلمبة ضخ خرسانة – ٤٢ متر.



شكل (٤–٥) إستخدام عربات خلط ونقل الخرسانة و طلمبة الضخ فى صب أحد مراحل كوبرى ٦ أكتوبر.

ب- النقل و المناولة

- يلزم صب الخرسانة بعد تمام خلطها مباشرة مع مراعاة تجنب إنفصال مكوناتها على أن لاتزيد المدة مابين إضافة ماء الخلط وصب الخرسانة على ٣٠ دقيقة فى الجو العادى و ٢٠ دقيقة فى الجو الحار وأن يتم دمكها قبل مضى ٤٠ دقيقة فى الجو العادى و ٣٠ دقيقة فى الجو الحار أما إذا أستلزم الأمر زيادة الفترات السابقة فإنه يلزم إضافة مؤجلات للشك عند الخلط بعد موافقة المهندس الإستشارى للمشروع وذلك حتى لا تجف الخرسانة أو يحدث لها شكا إبتدائياً وخاصة فى الأماكن الحارة وحتى لا يحدث وصلات أو فواصل فى الخرسانة المصبوبة.
- يجب عدم حدوث أى إهتزازات للخرسانة أثناء النقل.
- ويكون النقل على حسب درجة المشروع وحجمه كما يلى:
  - ❑ نقل الخرسانة على سطح الأرض بإستخدام القواديس - عربات اليد - العربة القلابة.
  - ❑ نقل الخرسانة على مستويات عالية وذلك برفع القواديس بإستخدام الونش.
  - ❑ نقل الخرسانة على مستويات تحت الأرض وذلك بالجاذبية بإستخدام مجارى مائلة أو فى أنابيب.
  - ❑ حديثا يوجد مضخات للخرسانة Concrete Pump بمعدلات مختلفة تتناسب مع حجم المشروع. شكل (٤-٤) يوضح أحد المضخات ذات زراع بطول ٤٢ متر بينما يوضح شكل (٤-٥) إستخدام المضخات فى صب خرسانة أحد الكبارى.
  - ❑ يجوز تفريغ الخرسانة على طبلية صماء توطئة لنقلها يدويا مع مراعاة عدم تفريغ خلطة جديدة على الطبلية إلا بعد تمام نقل الخلطة السابقة.

ج- الصب

يجب مراعاة الإحتياطات الآتية أثناء عملية الصب:

- فى حالة صب الحوائط والأعمدة التى يتجاوز إرتفاعها ٢,٥متر فلا يجوز صبها بكامل الإرتفاع ويجب عمل شباك فى أحد جوانب القالب على إرتفاعات لاتزيد عن ٢,٥متر ويتم الصب من هذه الفتحات حيث يتم تقفيلها أولاً بأول مع مراعاة دمك الخرسانة ميكانيكيا.
- فى حالة صب بلاطة أو لبشة خرسانية بإرتفاع كبير يراعى أن تصب على طبقات سمكها يتراوح من ٤٠ إلى ٥٠ سم.
- يلزم مراعاة تحديد أماكن إيقاف الصب وسطح نهاية الصب (بلاطات وكمرات وأعمدة) مسبقاً قبل بدء الصب. وينبغى أن يكون إيقاف الصب فى الأماكن التى عندها عزم الإنحناء يساوى صفر أو بأقل قيمة ممكنة. ويراعى ترك سطح الخرسانة عند نهاية الصب مائلا خشنا فى البلاطات والكمرات وأفقيا خشنا فى الأعمدة. ولا يفضل وقف الصب عند المقاطع التى عندها قوى قص عالية.
- يجب فى كل منطقة من مناطق الصب البداية بصب الكمرات الرئيسية ثم الكمرات الثانوية ثم الأسقف.

- إذا زادت درجة الحرارة على ٣٦ درجة مئوية فى الظل يجب مراعاة الإحتياطات الآتية:

- ❑ تظليل تشوينات الركام الكبير والصغير ويمكن تبريد الركام الكبير بإستخدام رشاشات مياه.
- ❑ إذا كان الأسمنت سائباً فى صوامع فإنه يجب دهانها من الخارج بمادة عاكسة لأشعة الشمس أما إذا كان فى أكياس فترص تحت سقيفة مهواة.
- ❑ يبرد الماء قبل إستعماله فى خلط الخرسانة بإستخدام الثلج أو بأى وسيلة أخرى.
- ❑ دهان الخلاطات من الخارج بمواد عاكسة لأشعة الشمس أو تغطية الحلة بطبقة من الخيش مع رشها بالماء.
- ❑ رش القوالب بالمياه قبل الصب مباشرة.

- الصب على خرسانة قديمة : ينبغى أن يترك سطح الخرسانة القديمة خشن وغير مستوى وقبل الصب عليه ينظف من الأتربة ويزال الركام غير المتماسك كما ينظف حديد التسليح بفرشة سلك ثم يُندى سطح الخرسانة ويُصب عليه لبانى الأسمنت ويُفضل أن يُرش أو يُدهن سطح الخرسانة القديمة بمادة راتنجية تعمل على لحام الخرسانة القديمة مع الخرسانة الحديثة.

- صب الخرسانة الكتلية : ينبغى الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد اقصى واحد متر مع إستخدام أسمنت منخفض الحرارة (لوهيت) وكذلك يمكن وضع مواسير داخل الخرسانة تمر خلالها دورات من الماء البارد لخفض درجة الحرارة.

- صب الخرسانة تحت الماء : يوجد طرق عديدة لصب الخرسانة تحت الماء منها:

١- طريقة القادوس (ترميو) Tremie

و فيها تُصب الخرسانة من خلال قادوس أو قمع متصل بماسورة قطرها من ١٠ إلى ١٥ سم تصل إلى القاع المطلوب صب الخرسانة عليه بحيث يراعى أن حافة الماسورة السفلية تكون غاطسة فى الخلطة الخرسانية على أن تُرفع الماسورة أثناء الصب بمعدل لايسمح بخروج الماسورة من الخلطة حتى لاتتسرب المياه بداخلها كما بشكل (٤-٦).

٢- طريقة ضخ الخرسانة Concrete Pumping

وهى تطوير لطريقة القادوس حيث تصب الخرسانة بالضخ عن طريق مواسير ممدودة إلى قاع مكان الصب.

٣- طريقة الدلو Bucket

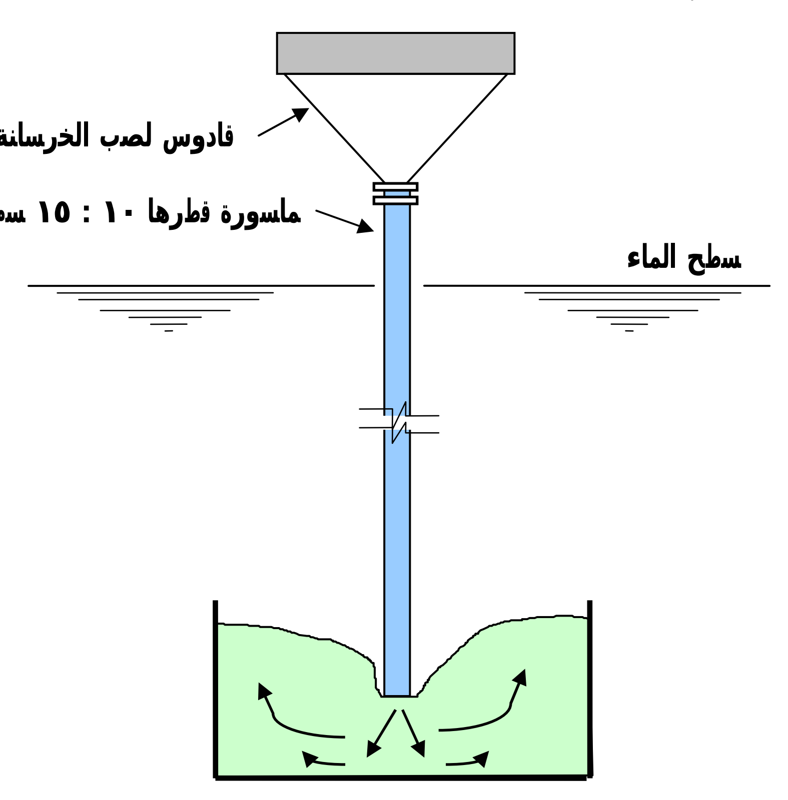
وهو عبارة عن وعاء على شكل متوازى مستطيلات أوإسطوانة مفتوحة من أعلى ومجهزة من أسفل ببوابة قابلة للفتح والغلق. يملء الدلو بالخرسانة ويغطى سطحه بطبقة من القماش المشمع ثم ينزل برفق فى الماء حتى مكان الصب ويفرغ ثم يرفع.

٤- طريقة الركام المحقون Grouted Aggregates

تعبأ الشدات بالركام ثم يحقن بالأسمنت اللبانى بواسطة أنابيب تمتد إلى قاع الفرم حيث يدفع الأسمنت الماء خارج الفرم ويحل محله مالئاً الفراغات بين حبيبات الركام.

٥- طريقة أكياس الخرسانة Sacked Concrete

وفيها يتم وضع خرسانة ذات قوام جاف (مفلفلة) فى أكياس (أجولة) من الجوت سعة كل منها واحد متر مكعب تقريبا وتربط الأكياس جيداً ثم ترص فى مكان الصب فى صفوف مترابطة كما فى حالة بناء الحوائط بحيث تكون الأكياس فى النهاية كتلة واحدة متماسكة متداخلة.



شكل (٤-٦) صب الخرسانة تحت الماء بطريقة القادوس.

د- الدمك Compaction

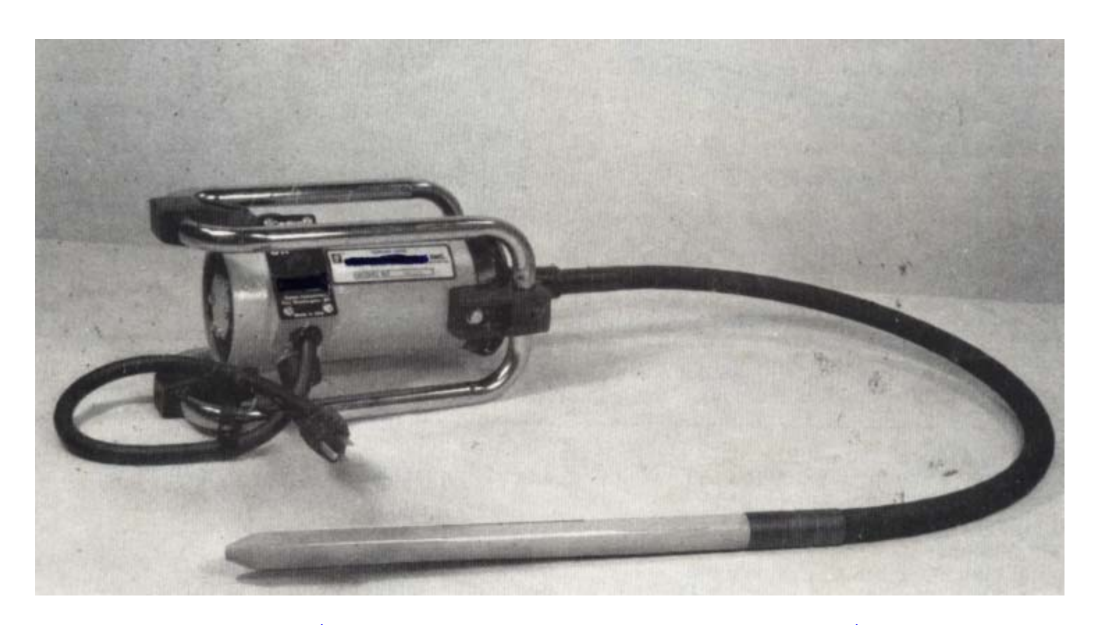
الغرض من عملية الدمك هو تقليل الفراغات والفجوات داخل الخرسانة والتأكد من تمام إنسياب الخلطة الخرسانية حول حديد التسليح وملء القالب تماماً إلى المنسوب المطلوب. وطرق الدمك هى:

دمك يدوى	دمك ميكانيكى		
قضيب الدمك Tamping Rod	هزازات داخلية Internal Vibrators	هزازات الفرم Formwork Vibrators	هزازات سطحية Surface Vibrators

ويوضح شكل (٤-٧) صورة هزاز ميكانيكى داخلى يعمل بالكهرباء ، بينما يوضح شكل (٤-٨) إستخدام الهزاز فى دمك الخرسانة. و يجوز الدمك يدوياً إذا لم ينص على إستعمال الوسائل الميكانيكية. وينبغى أن يقوم بالدمك شخص متخصص وله خبرة فى الدمك. يجب الإستمرار فى الدمك حتى ينتهى خروج فقاقيع الهواء أو تظهر طبقة رقيقة من عجينة الأسمنت على السطح النهائى للخرسانة ولا يسمح بالدمك بعد ذلك لأنه يسبب النضح Bleeding. كما ينبغى عدم لمس الهزاز الداخلى لحديد التسليح أثناء الدمك. ويراعى أن لا يتسبب الدمك بأى حال من الأحوال عن قلقلة الخرسانة السابق صبها أو زحزحة أسياخ التسليح من مكانها. شكلى (٤-٨) ، (٤-٩) يوضحان نوعين من الخرسانة أثناء الصب حيث نجد الخرسانة فى الصورة الأولى جافة نسبياً و تحتاج إلى إستخدام الهزاز الميكانيكى وقتاً كبيراً نسبياً. بينما نجد أن الخرسانة فى الصورة الثانية لها من السيولة والإنسيابية ما يجعلها ربما لاتحتاج إلى إستخدام الهزاز.

هـ- التشطيب Finishing

- **معاملة السطح طبيعيا للحصول على سطح معمارى ناعم وذلك بإستخدام الواح ذات اسطح مستوية وملساء لعمل الفرم الخاصة وقد تكون من الأبلاكاج أو الإسبستوس أو الكونتر أو.....**
- **يمكن تجهيز الفرم بفواصل معينة للحصول على سطح يوحى أنه مبنى من الحجر.**
- **من الممكن عمل رسومات هندسية مثل الدوائر أو أوراق الشجر على طول ممرات الحدائق.**
- **يمكن أيضا تمشيط الخرسانة أو إظهار الركام الكبير بها ويتم ذلك غالبا فى المرحلة الخضراء من الخرسانة.**



شكل (٤-٧) هزاز خرسانة بمحرك زمبة يعمل بالكهرباء.



شكل (٤-٨) صب خرسانة جافة نسبياً
تحتاج إستخدام الهزاز وقت أكبر.



شكل (٤-٩) صب خرسانة عالية السيولة
والإنسيابية لاتحتاج إستخدام الهزاز

٤-٣ مرحلة ما بعد الصب Green Concrete

أ- معالجة الخرسانة Curing

إن مقاومة الخرسانة للضغط وقوة إحتمالها ومقاومتها لنفاذ الماء وثبات حجمها يزداد بمرور الوقت (شكل٤-١٠) بشرط أن تكون الظروف مهيئة لإستمرار التفاعل الكيماوى بين الماء والأسمنت وذلك بحفظ درجة معينة ومناسبة من الرطوبة أو منع الماء من التبخر والمعالجة بإختصار تتم عن طريق:

١- إما منع تبخر ماء الخرسانة بتغطيتها أو قفل مسامها بعمل غشاء أو طبقة مانعة للتبخر.
٢- أو إضافة الماء بإستمرار للتعويض عن الماء الذى يتبخر.

ومن المواد المستعملة فى المعالجة:

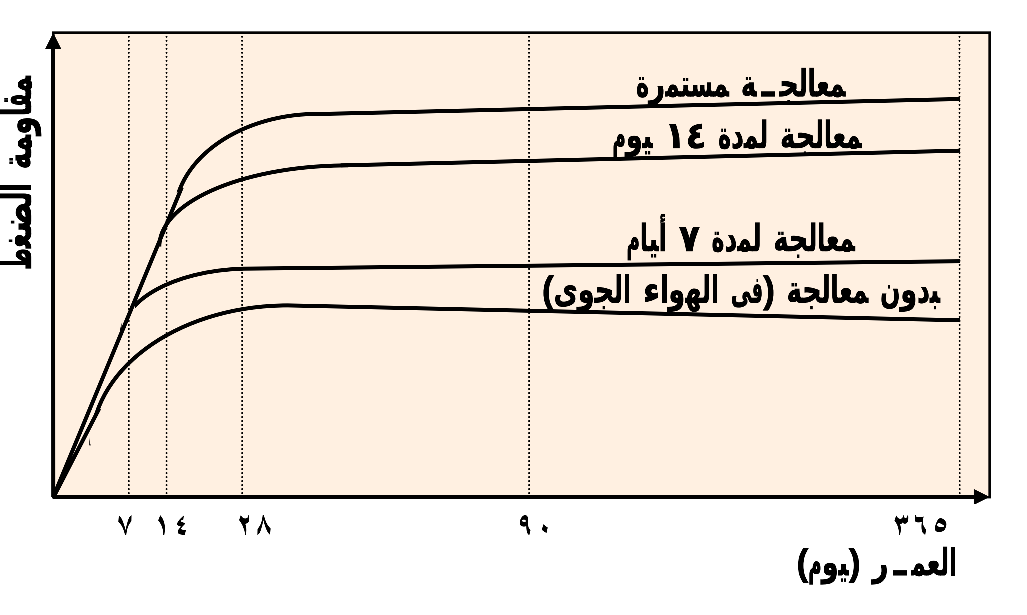
١- الماء.
٢- الخيش المرطب.
٣- الأغشية المانعة للتسرب مثل : لفائف البلاستيك والورق المانع لتسرب الماء.
٤- مركبات أو إضافات المعالجة والتى تعمل على سد مسام الخرسانة.
٥- مواد أخرى مثل الرمل الطبيعى والتبن والقش ونشارة الخشب والركام الناعم.

وطرق المعالجة كثيرة نذكر منها:

١- الغمر بالماء على شكل برك (فى الأسطح الأفقية والأرضيات).
٢- الرش بالماء - (حفظ السطح رطبا بين مواعيد الرش مع عدم السماح له بالجفاف).
٣- التغطية بالخيش الرطب.
٤- التغطية باللفائف المانعة لتسرب الماء.
٥- المعالجة بإستعمال المركبات الكيماوية (العازلة للرطوبة - السدودة).
٦- المعالجة بالبخار Steam Curing:

تحت ضغط عادى (ضغط الجوى) وتستغرق ١٠-١٦ ساعة .
تحت ضغط عالى وتستغرق ٧-٨ ساعات.

والمعالجة بالبخار تستخدم فى مصانع الخرسانة الجاهزة وهى عملية معقدة ومكلفة ولكنها تؤدى إلى السرعة فى عملية الإماهة والتصلد للإسراع من الإنتاج وتجنب مشاكل التخزين وتفيد فى عمل خلطات ذات محتوى ماء قليل فتزيد المقاومة وتقل نسبة الإنكماش وتكون ذات مقاومة أعلى للكبريتات.



شكل (٤-١٠) تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.

ب- إزالة الفرم والشدات

إن المدة الواجب إنقضاؤها بين صب الخرسانة وفك الشدات تتوقف على درجة الحرارة وطول البحر ونوع الأسمنت المستخدم وأسلوب المعالجة والحمل الذى سيتعرض له المنشأ بعد الفك. ويشترط أن لا ينتج عن الفك حدوث أى ترخيم أو شروخ أو تشوهات غير مسموح بها. ويجب مراعاة أن لا تتعرض الخرسانة للإهتزازات أو الصدمات أثناء الفك. وفى حالة إستعمال أسمنت بورتلاندى عادى فيمكن إزالة الفرم والشدات الخشبية بعد مدة لاتقل عن القيم الآتية:

- الجوانب والأعمدة المعرضة لقوى ضغط محورى فقط يمكن فكها بعد ٢٤ ساعة.

- الكمرات والبلاطات بعد مدة = ٢ل + ٢ يوم

  حيث ل = طول بحر الكمرة أو البحر الأصغر للبلاطة بالمتر. بحيث لاتقل المدة عن أسبوع.

- الكوابيل بعد مدة = ٤ل + ٢ يوم

  حيث ل = بروز الكابولى بالمتر. بحيث لاتقل المـدة عن أسبوع.

- عندما تكون الفرم والركائز حاملة لأحمال إضافية كما فى حالة الطابق الذى يحمل وزن الطابق التالى حديث الصب فلا يجوز فك القوائم إلا بعد إنقضاء ٢٨ يوماً مع إتخاذ كافة الإحتياطات التى تضمن إرتكاز القوائم على أرضية تتحمل الأثقال عليها بأمان وبعد التأكد من أن مقاومة الخرسانة بعد ٢٨ يوم قد أوفت بإشتراطات المشروع.

❑ في حالة إستعمال أسمنت بورتلاندى غير عادى أو فى الحالات التى تنخفض فيها درجات الحرارة عن ١٥ درجة مئوية فيجب الحذر وتأجيل فك الفرم والشدات الخشبية مدة مناسبة بالإضافة إلى المدد المشار إليها عاليه.

ج- الترميم والبياض

- يشتمل الترميم على:

إزالة الزوائد - ملء الفجوات وأماكن التعشيش - تنظيف السطح الخارجى للخرسانة.

- طريقة ملء الفجوات:

يتم تنظيف أماكن العيوب وإزالة المونة والركام الضعيف
تُبلل الفجوات بالماء ثم تُفرش بمونة الأسمنت والرمل بنسبة ١:١ بالوزن
تُصب مونة الترميم والمكونة من أسمنت ورمل بنسبة ١:٣ بالوزن بحيث تكون بارزة قليلا عن سطح الخرسانة وتُترك مدة ٢ ساعة تقريبا ثم يسوى السطح على السطح المحيط به.
(يفضل إستخدام مونة الجراوت مباشرة فى مثل هذه الأعمال).

- أما معالجة السطح الخارجى فتتم بطرق عديدة منها:

١- تنظيف السطح الخارجى بإستخدام الخيش والمونة الغنية بالأسمنت وذلك لملء الثقوب الصغيرة و إعطاء سطح الخرسانة لون متجانس.
٢- الغسيل بالأسمنت.
٣- الطرطشة: وذلك برش طبقة من مونة الأسمنت والرمل الناعم على سطح الخرسانة.
٤- البياض بالمحارة: وذلك بعمل طبقة من مونة الأسمنت والرمل بسمك ١:٢ سم ثم تمشط أو تنعم.

****

الباب الخامس

تصميم الخلطات الخرسانية

Concrete Mix Design

٥–١ مقدمة

تصميم الخلطات الخرسانية يعنى تحديد القيم النسبية لمكوناتها Proportioning بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين. ويكون ذلك بإستخدام نسب ثُبُتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية Empirical Proportioning وقد يكون بطرق حسابية مبنية على أساس فنى تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة فى الخرسانة المتصلدة (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبرى) والإشتراطات التى تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب Placing والتسوية النهائية (التشطيب Finishing) لسطح الخرسانة. وذلك مع مراعاة التكاليف الإقتصادية حسب نوع العمل الإنشائى المطلوب. وهذه الطرق الحسابية تهدف الى إستخدام المواد الموجودة Available Materials لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة فى الحالتين الطازجة والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف Required Qualities at Minimum Cost ويمكن إعتبار أن مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة Quality الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط Slump عن مدى جودة الخرسانة الطازجة.

ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التى تؤثر على جودة الخرسانة وعلى إقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة فى جودتها وثمنها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس المواد. ويعتمد الإقتصاد النسبى للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات. ويعتبر الأسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذى تؤثر نسبة وجوده فى الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لغلو ثمنه بالنسبة لباقى المكونات.

٥–٢ كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة Expressing Proportions

- ❒ تُبَيَن مكونات الخرسانة من المواد الحبيبية Granular Materials وهى الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير عادة على هيئة نسب Ratios بالوزن أو بالحجم فمثلا عندما يقال خلطة ١ : ٢ : ٤ معناها:

الأسمنت	الرمل	الزلط
١	٢	٤

أى تحتوى على جزء من الأسمنت وجزئين من الرمل وأربعة أجزاء من الزلط. وتفضل أن تكون تلك النسب بالوزن لعدم إمكان التحديد الدقيق لكمية الأسمنت بالحجم وأيضا الركام نتيجة تغير الكمية التى يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الدمك Compaction المستخدم. كما أن الركام الصغير قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم Bulking بالرطوبة.

- وقد تُبَيَن المواد الحبيبية كنسبة بين الأسمنت والركام الخليط Cement/Agrregates Ratio فمثلاً خلطة ١ : ٦ أى جزء واحد أسمنت وستة أجزاء ركام بالوزن وتبين هذه النسبة مدى غنى او إفتقار الخرسانة Rich or Lean Mix فالخلطة ١ : ٤ تعتبر خلطة غنية أما الخلطة ١ : ٨ فتعتبر خلطة فقيرة.

- وقد تُبَيَن نسب المواد الحبيبية بما يحوية المتر المكعب للخرسانة الطازجة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير على أن يُبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلاً لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا بخلطة .

أسمنت	رمل	زلط
٣٠٠ كيلوجرام	٠,٤ متر مكعب	٠,٨ متر مكعب

ومجموع هذة الكميات يعطى تقريبا بعد خلطها بالماء حوالى متر مكعب من الخرسانة الطازجة

- كما يمكن ان يُعبَر عن الأسمنت بعدد الشكاير للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة وهذا العدد يسمى معامل الأسمنت Cement Factor فمثلاً خلطة يحتوى المتر المكعب منها على ٦ شكاير أسمنت (الشيكارة وزنها ٥٠ كيلو جرام) وخلطة أخرى غنية يحتوى المتر المكعب منها على ٨ شكاير أو خلطة فقيرة يحتوى المتر المكعب منها على ٤ شكاير:

أسمنت	رمل	زلط
٦ شكاير	٠,٤م^{٣}	٠,٨ م^{٣}

- وُتبَيَن كمية الماء اللازمة للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت = ٠,٥ بالوزن ، فاذا علم وزن الأسمنت فى المتر المكعب للخرسانة الطازجة أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لإجراء الخلط وبالتالى يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر. وأحياناً قد تُبَيَن كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة مباشرة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	زلط	ماء
٣٠٠ كج	٠,٤م^{٣}	٠,٨ م^{٣}	١٥٠ لتر

أى أن المتر المكعب من الخرسانة الطازجة لهذه الخلطة يلزم له ٣٠٠ كج أسمنت (٦ شكاير) و ١٥٠ لتر ماء. وتحسب الكميات المطلوبة من المواد لأى خلطة تبعا لعدد الأمتار المكعبة الكلية من الخرسانة الطازجة.

❒ وتُبَيَن كمية الإضافات -إن وجدت- على أساس أنها نسبة مئوية من وزن الأسمنت المستخدم بالخلطة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	زلط	ماء
٣٠٠ كج	٠,٤م^{٣}	٠,٨ م^{٣}	١٥٠ لتر

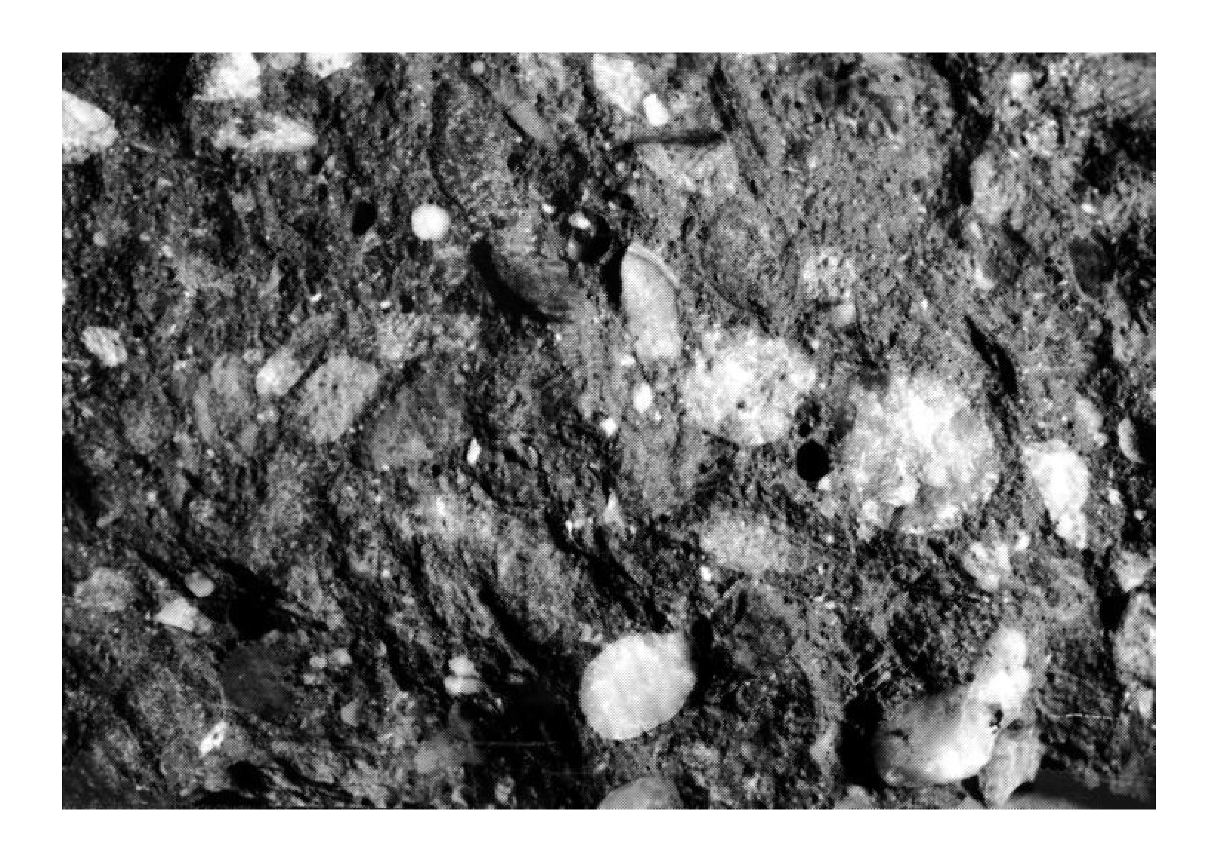
بها ٢ % ملدنات تعنى أن وزن الملدنات المستخدم = ٣٠٠ × ٠,٠٢ = ٦ كيلو جرام للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة.

٥–٣ العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية Aggregate-Paste Relationship

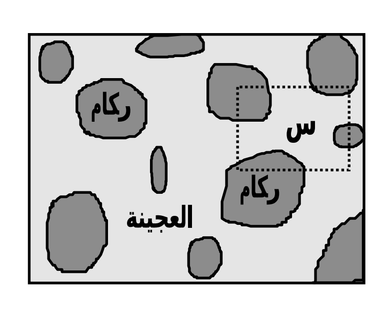
تتركب الخرسانة من عجينة أسمنتية (نشطة) وركام (خامل) وتعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جداً بالنسبة لمقاومة العجينة. ولذلك فإن إنهيار الخرسانة التقليدية يكون دائماً فى العجينة ويمر الشرخ حول الركام. فإذا أمكننا إنتاج عجينة ذات مقاومة عالية جداً تقترب من مقاومة الركام فإننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والتى يكون الإنهيار فيها مفاجىء حيث يمر الشرخ بالركام (وليس حوله) ويشطره كما فى شكل (٥-١).

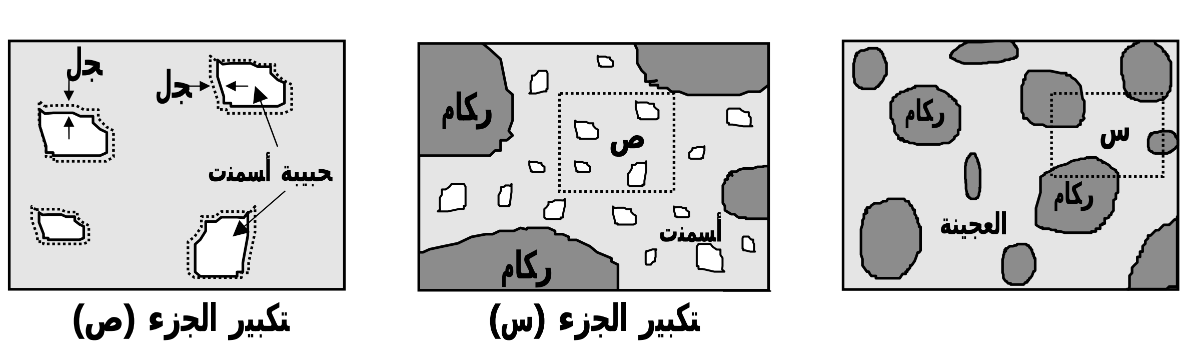
ومن الجدير بالذكر أن تشغيلية الخرسانة تنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة. كما تعتمد نفاذية الخرسانة للسوائل على وجود واستمرار العجينة الأسمنتية. وبالإضافة الى ذلك فإن إنكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس الركام.

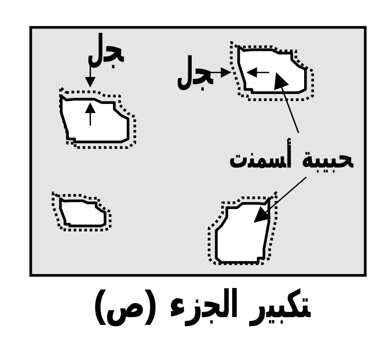
والعجينة الأسمنتية تكون عبارة عن مُعلق Suspension للأسمنت فى الماء (شكل ٥-٢). وكلما خفت درجة تركيز المعلق كلما زادت المسافة بين حبيبات الأسمنت وكلما قلت بالتبعية بنية العجينة. وهذا يوضح أن مقاومة الضغط للخرسانة دالة عكسية مع نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س). وعندما تبدأ عملية الإماهة للأسمنت فيتكون الجل من الماء ومن مادة سطح حبيبات الأسمنت والذى قد يصل حجمه الى ضعف حجم الأسمنت الناتج منه. وهكذا مع إستمرار الإماهة يستمر تكون الجل حول كل حبيبة حتى يتصل الجل ببعضه مكوناً بنية العجينة.



شكل (٥-١) الكسر فى الخرسانة عالية المقاومة يمر خلال الركام وليس حوله.







شكل (٥-٢) علاقة العجينة الأسمنتية بالركام.

٥-٤ طرق تصميم الخلطات الخرسانية Mix Design Methods

أولاً : الطريقة الوضعية Empirical Method

تحدد هذه الطريقة نسباً لمكونات الخرسانة نتيجة الخبرة **Experience** السابقة للإستعمال بنجاح. وقد أثبتت هذه الطريقة ملائمتها وصلاحيتها للعمليات الصغيرة **Small Jobs** نظراً لسهولتها حيث تعطى المواد الصلبة (الأسمنت ، الرمل ، الزلط) على هيئة نسب بالوزن أو الحجم وقد تحدد كمية الماء اللازم أو تترك لمراعاتها أثناء الخلط بحيث نحصل على خلطة لدنة **Plastic** سهلة التشغيل **Workable**. ونسب مكونات الخرسانة بالوزن المستخدمة عادة فى المنشآت طبقا لنوع الخرسانة أو طبقا لمقاومة الخرسانة للضغط هى كما يلى :

	الأسمنت	الرمل	الزلط	أى	الأسمنت	الركام
خلطة غنية ذات مقاومة عالية	١	١	٢		١	٣
خلطة متوسطة	١	٢	٤		١	٦
خلطة فقيرة ذات مقاومة منخفضة	١	٣	٥		١	٨

وذلك على أساس أن الركام مناسب والماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوام **Consistency** مناسب لتكون لدنة. والنسب الوضعية المستخدمة فى جمهورية مصر العربية هى:

أسمنت	رمل	زلط
س كج	٠,٤ م^{3}	٠,٨ م^{3}

مع كمية الماء المناسبة والمعقولة وتتراوح قيمة الماء كنسبة من الأسمنت (م/س) من ٠,٤ إلى ٠,٧ بالوزن ويحدد كميتها طبيعة العمل. أما كمية الأسمنت "س" فيحددها نوع العمل والخلطة اللازمة له هل هى غنية أو فقيرة حيث تتراوح "س" من ٢٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوجرام أى من ٤ إلى ٨ شكاير للمتر المكعب من الخرسانة. ويحدد كمية الأسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن مواصفات العملية تبعا لطبيعتها .

❑ وعيوب هذه الطريقة تتلخص فى النقاط الآتية:

١- نسبة الماء / الأسمنت (م/س) غير محددة ومتروكة لظروف العمل.
٢- النسبة المذكورة لا تعطى متراً مكعبا فى جميع الحالات وقد يصل الحجم أحياناً إلى ١,٢ م^{3}.
٣- نسبة الرمل / الزلط شبه ثابتة وهى ١ : ٢ مع ملاحظة إهمال نوع الركام وتدرجه والمقاس الإعتبارى الأكبر له وكذلك إهمال معاير النعومة للرمل.
٤- لا يمكن الحصول على بيانات صحيحة لخواص الخرسانة الناتجة وكذلك لا يمكن توقع قيمة دقيقة لمقاومة الضغط لهذه الخرسانة.

ثانياً : طريقة المحاولة Trial Method

تعتمد هذه الطريقة على معرفة نسبة م/س فى الخلطة الخرسانية ويلزم عمل إختبارات مقارنة بين المواد المختلفة والخلطات المتباينة. وتتطلب هذه الطريقة وجود عينات من الأسمنت والزلط والرمل كما يجب تحديد نسبة م/س وكذلك المقاومة المطلوبة.

❑ وفيما يلى ملخص لخطوات تصميم خلطة خرسانية بطريقة المحاولة:

- تؤخذ كمية من الأسمنت فى حدود ٢,٥ كج (٥% من وزن الشيكارة).
- تحدد نسبة (م/س) من الخبرة أو من المنحنيات البيانية أو من الجداول.
- يخلط الأسمنت والماء لتكوين عجينة الأسمنت المكونة من أ ، ب.
- تحضر كمية من الرمل والزلط ويفضل إستخدام الركام المشبع والسطح جاف كما يراعى ألا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر عن ١/٥ البعد الأصغر للمقطع وأن لا يزيد عن ٣/٤ المسافة بين أسياخ حديد التسليح (أيهما أصغر).
- يضاف تدريجيا كميات من الرمل والزلط وتخلط الخلطة جيداً ثم يحدد قوام الخرسانة إلى أن تصل إلى الخلطة التى تعطى القوام المطلوب.
- توزن بعد ذلك الكميات المتبقية ومنها تحسب الأوزان المستعملة.
- تحسب الكميات بالوزن والحجم المطلوبة لعمل خلطة الخرسانة لموقع العمل .

ثالثاً: طريقة الحجم المطلق Absolute Volume Method

تفترض هذه الطريقة أن الحجم المطلق للخرسانة هو مجموع الحجوم المطلقة للمواد المكونة للخرسانة Concrete Ingredients أى الحجم المطلق للأسمنت والرمل والزلط والماء كما يلى:

$$\text{Absolute Volume} = \frac{C}{G_c} + \frac{S}{G_s} + \frac{G}{G_g} + \frac{W}{1.0} = 1000 \ \text{Liters}$$

حيث :

C = وزن الأسمنت بالكيلوجرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .
S = وزن الرمل ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹
G = وزن الزلط ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹
W = وزن الماء ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹ ‹‹

G_c , G_s , G_g = الوزن النوعى للأسمنت والرمل والزلط على التوالى

علماً بأن واحد متر مكعب من الخرسانة = ١٠٠٠ لتر.

وفى هذه الطريقة يلزم تحديد كلاً مما يأتى طبقا للإشتراطات المطلوبة فى مقاومة الخرسانة المتصلدة Strength والإشتراطات المطلوبة فى مدى تشغيل Workability الخرسانة الطازجة:

١- كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة.
٢- نسبة الماء إلى الأسمنت بالوزن (م/س) أو كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة.
٣- نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير فى الركام المستخدم.
٤- الوزن النوعى للأسمنت والركام الكبير والركام الصغير.

وتحدد البيانات سالفة الذكر من واقع الخبرة Experience ومن النتائج العملية Practice ومن الإختبارات المعملية Laboratory Tests أى أننا نحدد قيمة C ، W/C ، G/S وكذلك نحدد الأوزان النوعية G_c G_s , G_g ثم تُطبق المعادلة سالفة الذكر لتعيين وزن كل من الرمل والزلط. واذا أريد بيان النسب بين المكونات الحبيبية للخرسانة بالوزن للأسمنت وبالحجم للركام يلزم معرفة الوزن الحجمى لكل من الرمل والزلط (أى وزن المتر المكعب) وذلك من واقع الخبرة والتجارب.

❑ وتتضح تلك الطريقة فى المثال التالى :

المطلوب تصميم خلطة خرسانية بحيث تكون الخرسانة الطازجة لدنة القوام Plastic وبحيث تكون الخرسانة المتصلدة ذات مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم تساوى ٢٤٠ كج/سم². مع مراعاة أن الركام الخليط المستخدم يمر منه نسبة ٤٠% من المنخل القياسى ١٦/٣ مع العلم بأن:
الوزن النوعى للأسمنت = ٣,١٥.
الون النوعى للركام (الرمل أو الزلط) = ٢,٦٥.
الوزن الحجمى للركام (الرمل أو الزلط) = ١٧٠٠ كج/سم³.

الحـــل

أ - تُعين نسبة الركام الصغير (الرمل) إلى الركام الكبير (الزلط):
يعتبر المار من المنخل القياسى ١٦/٣ هو الرمل والمحتجز عليه هو الزلط. إذن يتبين أن النسبة المئوية للرمل فى الركام الخليط تساوى ٤٠% وبالتالى الزلط يساوى ٦٠%.

ملاحظة: هذه النسبة قد تفرض طبقا للخبرة والسوابق العملية - والنسبة الشائعة الإستخدام قد تفرض مباشرة على أساس ٣٣% للرمل أى نسبة الرمل إلى الزلط تساوى ١ : ٢

ب - تفرض كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة على أساس مقاومة الخرسانة المتصلدة بعد ٢٨ يوم أو على أساس أى متطلبات أخرى خاصة بمتانة الخرسانة أو الظروف التى تعمل فيها.

ومن الخبرة العملية يمكن إستخدام هذه العلاقة:

كمية الأسمنت اللازمة للمترالمكعب = مقاومة للضغط بعد ٢٨ يوم (كج/سم²) + ٥٠ إلى ١٠٠

إذن كمية الأسمنت اللازمة للمتر المكعب = ٢٤٠ + ٦٠ = ٣٠٠ كج/م٣.

ج - تُعين كمية الماء اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة طبقا لمحتوى الأسمنت فى الخلطة والمقاس الإعتبارى للركام المستخدم وكذلك درجة القابلية للتشغيل المطلوبة. وهذه الكمية قد تفرض مباشرة طبقا للخبرة أو بالإستعانة بالجدول (٥-١).

فى هذا المثال نفرض أن (م/س) = ٠,٥

إذن كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة = ١٥٠ لتر.

جدول (٥-١) العلاقة بين كمية ماء الخلط ومحتوى الأسمنت.

المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم)	قيمة (م/س) لمحتوى أسمنت (كج) لكل متر مكعب خرسانة				
	٢٠٠	٢٥٠	٣٠٠	٣٥٠	٤٠٠
١٠	٠,٧٠	٠,٦٠	٠,٥٠	٠,٤٧٥	٠,٤٠
٢٠	٠,٦٥	٠,٥٥	٠,٤٥	٠,٤٢٥	٠,٣٨٥
٤٠	٠,٦١	٠,٤٨	٠,٤٢٥	٠,٣٨٥	٠,٣٧

د- يحسب تصميم الخلطة الخرسانية كما يلى :

وزن الزلط = (٦٠ / ٤٠) وزن الرمل = ١,٥ وزن الرمل

$$\text{Absolute Volume} = \frac{300}{3.15} + \frac{S}{2.65} + \frac{1.5S}{2.65} + \frac{150}{1.0} = 1000 \text{ litres}$$

وزن الرمل ،، ،، ، ،، = ٨٠٠ كج.

وزن الزلط ،، ،، ، ،، = ١٢٠٠ كج.

❑ نسب الخلطة الخرسانية بالوزن :

أسمنت		رمل		زلط		ماء
٣٠٠ كج		٨٠٠ كج		١٢٠٠ كج		١٥٠ كج
١	:	٢,٦٧	:	٤	:	٠,٥

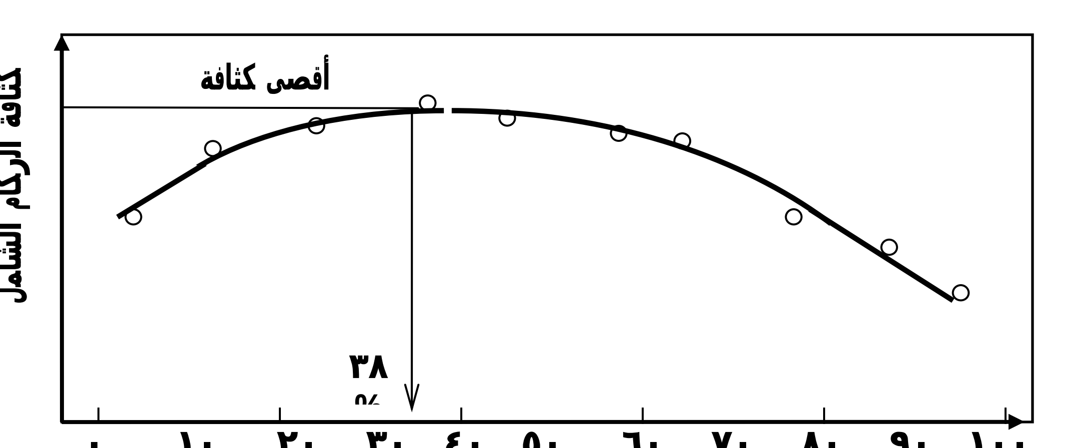
❑ نسبة الخلطة الخرسانية بالحجم :

أسمنت	رمل	زلط	ماء
$\frac{٣٠٠}{٥٠}$ شكارة	$\frac{٨٠٠}{١٧٠٠}$ م٣	$\frac{١٢٠٠}{١٧٠٠}$ م٣	١٥٠ لتر
٦ شكاير	٠,٤٧ م٣	٠,٧١ م٣	١٥٠ لتر

وتجدر الأشارة إلى أن تعيين نسبة الركام الصغير (الرمل) إلى الركام الكبير (الزلط) يمكن أن يتم على أسس أخرى هامه منها :

أ- طريقة الكثافة القصوى Optimum Unit Weight Method

وفيها يتم عمل خلطات من الركام الجاف فقط تحتوى على نسباً مختلفة من الرمل إلى الركام الخليط فمثلاً : صفر % ، ١٠ % ، ٢٠ % ، .... ١٠٠ % مع تعيين وحدة الوزن لكل منها ثم نوقع القراءات على منحنى ويمكن من هذا المنحنى إيجاد نسبة الرمل التى ستكون عندها وحدة الوزن نهاية قصوى أى الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة. ويتضح ذلك من شكل (٥-٣) الذى يبين أن نسبة الرمل ٣٦ % تعطى أقصى وحدة وزن للركام الخليط.



شكل (٥-٣) الكثافة القصوى للركام الخليط

ب- طريقة المساحة السطحية للركام Surface Area Method

الأساس العلمى فى هذه الطريقة هو الربط بين كمية عجينة الأسمنت فى الخلطة الخرسانية والمساحة السطحية للركام الذى تغلف أسطحة لإتمام عملية الإلتصاق بين حبيباته ومعنى ذلك بأنه فى الخلطات الخرسانية ذات الركام الصغير المقاس فإنه يحتاج لزيادة كمية الأسمنت بسبب زيادة المساحة السطحية لهذا الركام. وإحدى طرق التعبير المذكورة هى إستخدام المساحة السطحية للركام الخليط ومقاومة الضغط للخرسانة وذلك بمعرفة مقاومة الضغط المطلوبة للخرسانة أو قد تفرض المساحة السطحية للركام الخليط بقيمة تتراوح من ٢٤ إلى ٢٦ سم^{٢}/جم التى تعطى غالبا أكبر قيمة للمقاومة. وبالتالى نحدد التدرج المطلوب أو نسبة الرمل فى الركام الشامل.

٥-٥ تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة Design of HSC Mixes

الخلطات الخرسانية عالية المقاومة تتميز بوجود عدد كبير من المواد التى ينبغى إختيار الكميات والنسب المثلى منها للوصول إلى خرسانة ذات خواص مرغوبة خاصة من ناحية القابلية للتشغيل والمقاومة والمعمرية (المتانة). وتصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة يعتمد على نوعية وجودة المواد بدرجة أكبر من إعتماده على نسب الخلطة. ولقد سبق أن تناولنا الخصائص المطلوب توافرها فى مكونات الخرسانة عالية المقاومة وذلك فى باب الخرسانات الخاصة. وفيما يلى شرح موجز لخطوات تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

١- يتم تقرير إستخدام مادة غبار السليكا فى الحالات الآتية:

- إذا كانت المقاومة المطلوبة للخرسانة أكبر من ٨٠٠ كج/سم٢.
- عندما تكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة.
- فى حالة خرسانة الضخ حتى لايحدث إنفصال حبيبى.
- عندما تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات.

٢- يمكن فرض محتوى غبار السليكا طبقاً لمقاومة الضغط المطلوبة كما هو موضح بالجدول الآتى:

مقاومة الضغط للخرسانة كج/سم٢	نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت
٧٠٠ إلى ٨٠٠	٥ إلى ١٠%
٨٠٠ إلى ٩٠٠	١٠ إلى ١٥%
٩٠٠ إلى ١٠٠٠	١٥ إلى ٢٠%
أكبر من ١٠٠٠	٢٠ إلى ٢٥%

ملحوظة : يفضل أخذ الحد الأعلى لنسبة غبار السليكا عندما يكون الزلط هو المستخدم فى الخلطة أما فى حالة إستخدام الدولوميت أو الجرانيت فيفضل أخذ الحد الأدنى لنسبة غبار السليكا.

٣- يتم تحديد نوع الأسمنت المستخدم طبقاً لتقرير التربة الخاص بالعملية أو اللوح التنفيذية للمنشأ وعادة ما يكون إما أسمنت بورتلاندى عادى أو أسمنت بورتلاندى فائق النعومة أو أسمنت مقاوم للكبريتات. وبصفة عامة فإن كفاءة مادة غبار السليكا تكون أكبر فى حالة إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى بالمقارنة بباقى أنواع الأسمنت. ولا يُنصح بإستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات إلا فى حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات فى التربة أو فى المياه الجوفية. أما فى الأحوال العادية أو الأحوال التى تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح بإستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى.

٤- يحدد محتوى الأسمنت فى المتر المكعب خرسانة طبقاً لمحتوى غبار السليكا المستخدم كمايلى:

نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت	محتوى الأسمنت كج/م٣
١٥ إلى ٢٠%	٤٥٠
٥ إلى ١٥%	٤٧٥
عدم وجود غبار السليكا	٥٠٠

٥- يتم إختيار نوع الملدنات (Superplasticizers) بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type F. وفى حالة الحرارة الشديدة أو فى حالة طول مدة صب وصناعة الخرسانة فيفضل نوع الملدنات المطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494 Type G

٦- يمكن فرض نسبة الملدنات (Superplasticizers) طبقاً لمقاومة الضغط المطلوبة وذلك بعد عمل إختبار تأكيدى على خلطة تجريبية صغيرة للتأكد من توافق المادة مع الأسمنت المستخدم والحصول على المقاومة و القابلية للتشغيل المطلوبتين.

مقاومة الضغط للخرسانة كج/سم٢	نسبة الملدنات كنسبة من وزن الأسمنت + غبار السليكا
٤٠٠ إلى ٥٠٠	١,٠ إلى ١,٥%
٥٠٠ إلى ٦٠٠	١,٥ إلى ٢,٠%
٦٠٠ إلى ٧٠٠	٢,٠ إلى ٢,٥%
أكبر من ٧٠٠	٢,٥ إلى ٣,٥%

٧- يتم إستخدام الزلط كركام كبير فى الخلطة الخرسانية إذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لاتتجاوز ٧٥٠ أو ٨٠٠ كج/سم٢ وفى حالة خرسانة ذات مقاومة أكبر من ذلك فمن الضرورى إستخدام كسر حجر قوى (دولوميت أو جرانيت).

٨- يفضل أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام الكبير عن ٢٠ مم. والركام مقاس ١٤ مم أو حتى ١٠ مم يعطى مقاومة أفضل بشرط أن يكون الركام متدرج وسليم وقوى. وتفرض النسبة بين الركام الكبير والرمل وفقاً لأى طريقة كما فى حالة الخرسانة التقليدية (عادية المقاومة).

٩- تفرض نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية (أسمنت + غبار سليكا) من المعادلة التجريبية الآتية مع مراعاة أن لايقل وزن الماء عن ٠,٢٢ من وزن المواد الأسمنتية. علماً بأن هذه المعادلة مستنتجة على أساس خرسانة تحتوى على ملدنات وتعطى خلطة لدنة القوام (هبوط = ٨

إلى ١٢ سم). وقد تم إستنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج أكثر من ١٥٠ خلطة خرسانية ذات مقاومة تتراوح من ٥٠٠ إلى ١١٠٠ كج/سم٢.

$$w / cm = \frac{\log \{\frac{\alpha\,(1000 - C - SF)}{f_c}\}}{3.0 * \log(\beta)}$$

حيث:

- w/cm **النسبة بين وزن الماء ووزن المواد الأسمنتية (الأسمنت + غبار السليكا)**
- f_c **هى مقاومة الخرسانة كج/سم٢**
- **C** **هى وزن الأسمنت فى المتر المكعب من الخرسانة ـ كج**
- **SF** **هى وزن غبار السليكا فى المتر المكعب من الخرسانة ـ كج**
- α **عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوى ١٣ ، ١٤ ، ١٥ للزلط والجرانيت والدولوميت على الترتيب.**
- β **عامل يتوقف على نوع الأسمنت ويساوى ١٣,٠ ، ١٢ ، ١٠,٥ للأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت المقاوم للكبريتات والأسمنت فائق النعومة على الترتيب.**

والجدول الآتى يعطى بعض القيم لنسبة الماء إلى المواد الأسمنتية (w/cm) وذلك لتحقيق مقاومة ضغط بعد ٢٨ يوم = ١٠٠٠ كج/سم٢ بإستخدام محتوى أسمنت = ٤٧٥ كج/م٣.

المقاومة المطلوبة = ١٠٠٠ كج/سم٢ محتوى الأسمنت = ٤٧٥ كج/م٣		غبار السليكا كنسبة مئوية من وزن الأسمنت %0	%١٠	%١٥	%٢٠	%٢٥
- أسمنت بورتلاندى عادى	زلط	٠,٢٤٤	٠,٢٣٧	٠,٢٣١	٠,٢٢٤	٠,٢١٦
- أسمنت مقاوم للكبريتات	زلط	٠,٢٥١	٠,٢٤٥	٠,٢٣٨	٠,٢٣١	٠,٢٢٣
- أسمنت فائق النعومة	زلط	٠,٢٦٦	٠,٢٥٩	٠,٢٥١	٠,٢٤٤	٠,٢٣٦
- أسمنت بورتلاندى عادى	دولوميت	٠,٢٦٢	٠,٢٥٦	٠,٢٤٩	٠,٢٤٢	٠,٢٣٥
- أسمنت مقاوم للكبريتات	دولوميت	٠,٢٧١	٠,٢٦٤	٠,٢٥٧	٠,٢٥٠	٠,٢٤٢
- أسمنت فائق النعومة	دولوميت	٠,٢٨٦	٠,٢٧٩	٠,٢٧٢	٠,٢٦٤	٠,٢٥٦

١٠- يتم تطبيق معادلة الحجم المطلق بنفس الطريقة المتبعة سابقاً فى حالة الخرسانة عادية المقاومة وذلك لحساب أوزان المكونات المختلفة فى المتر المكعب من الخرسانة مع مراعاة فرض قيم الأوزان النوعية للمواد المختلفة إذا لم تتوافر بيانات عنها كما يلى:

الأسمنت = ٣,١٥	**غبار السليكا = ٢,١٥**	**الملدنات = ١,١٥**
الزلط والرمل = ٢,٦٥	**الدولوميت = ٢,٧**	**الجرانيت = ٢,٧**

مثال:

المطلوب تصميم خلطة خرسانية عالية المقاومة وتحديد الكميات اللازمة لعمل واحد متر مكعب من الخرسانة إذا علم أن:

- **مقاومة الضغط المطلوبة = ٨٠٠ كج/سم٢**
- **الهبوط بإستخدام المخروط القياسى = ١٠ سم**
- **نوع الأسمنت المستخدم هو أسمنت مقاوم للكبريتات**
- **الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعي حرش و دولوميت مقاس ١٤مم ، والتدرج الحبيبى لكلٍ من الرمل والدولوميت كما يلى:**

فتحة المنخل - مم	٢٠	١٠	٤,٧٥	٢,٣٦	١,١٨	٠,٦	٠,٣	٠,١٥
دولوميت	١٠٠	٨٥	٦	-	-	-	-	-
رمـــل	-	١٠٠	٩٤	٨٠	٦٥	٥٠	١٠	صفر

تصميم الخلطة

١- نسبة غبار السليكا المناظر لمقاومة ٨٠٠ كج/سم٢ مع استخدام الدولوميت = ١٠% من وزن الأسمنت.

٢- محتوى الأسمنت المناظر لنسبة ١٠% من غبار السليكا = ٤٧٥ كج/م٣.

∴ وزن غبار السليكا = ٤٧٥ × ١٠% = ٤٧,٥ كج/م٣.

٣- نسبة الملدنات المطلوبة = ٣% من وزن المواد الأسمنتية وتكون من النوع ASTM-Type <u>G</u>

∴ وزن الملدنات فى المتر المكعب = ٠,٠٣ × (٤٧٥ + ٤٧,٥) = ١٥,٦٧٥ كج

٤- بتطبيق معادلة *w/cm* مع مراعاة أن قيمة α = ١٥ وقيمة β = ١٢ نحصل على نسبة الماء إلى المواد الأسمنتية = ٠,٢٩٤

∴ وزن الماء فى المتر المكعب = ٠,٢٩٤ (٤٧٥ + ٤٧,٥) = ١٥٣,٦ كج

٥- يتم خلط الركام الكبير مع الركام الصغير بحيث يحقق أن ٣٠% من وزن الركام الخليط يمر خلال المنخل رقم ٤,٧٥. إذن بإستخدام النتائج فى جدول التدرج نجد أن:

٠,٩٤ وزن الرمل + ٠,٠٦ وزن الدولوميت = ٠,٣٠ (وزن الرمل + وزن الدولوميت)

∴ وزن الرمل = ٠,٣٧٥ وزن الدولوميت.

٦- بتطبيق معادلة الحجم المطلق:

$$\frac{475}{3.15}+\frac{47.5}{2.15}+\frac{0.375\ W}{2.65}+\frac{W}{2.7}+\frac{15.675}{1.15}+\frac{153.6}{1.0}=1000$$

حيث W هى وزن الدولوميت.
بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كج
∴ وزن الرمل = ١٢٨٩ × ٠,٣٧٥ = ٤٨٣ كج

٧- و يكون وزن المكونات المختلفة اللازمة لعمل واحد متر مكعب خرسانة هى:

- **وزن الأسمنت المقاوم للكبريتات = ٤٧٥ كج**
- **وزن غبار السليكا = ٤٧,٥ كج**
- **وزن الدولوميت = ١٢٨٩ كج**
- **وزن الرمل = ٤٨٣ كج**
- **وزن الملدنات ASTM C494 Type G = ١٥,٦٧٥ كج**
- **وزن الماء = ١٥٣,٦ كج**

٥-٦ بعض الخلطات الخرسانية ذات المتطلبات الخاصة
Concrete Mixes With Special Requirements

قد يكون مطلوباً فى بعض الأحيان تصميم خلطة خرسانية لها خواص معينة أو تحقق شروطاً معينة تكون ضرورية من الناحية التصميمية أو التنفيذية فمثلاً قد يطلب أن تكون الخلطة ذات مقاومة عالية أو أن يكون لها قوام إنسيابى أو أن تحتفظ الخلطة بقوامها اللدن لمدة طويلة (قد تصل إلى ساعتين). والأمثلة الآتية هى نتائج معملية لبعض الخلطات التى تم تنفيذها فى معامل كلية الهندسة بالمنصورة.

الخلطة رقم ١

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٤٠٠ كج/سم^{2}.
- يشترط عدم إستخدام أية إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م^{3}.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٤٣ (٢١٥ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ مم).

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٢٢ كج/سم^{2}.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٠٥ كج/سم^{2}.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٢٧ كج/سم^{2}.

الخلطة رقم ٢

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٤٠٠ كج/سم^2.
- يمكن إستخدام إضافات.
- الهبوط فى حدود ١٠ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كج/م^3.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٦ (١١٧ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ مم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط الأولى = ١٤ سم - الهبوط بعد ساعة = ١٠ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٣٧٥ كج/سم^2.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٤٤٥ كج/سم^2.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٤٩٠ كج/سم^2.

الخلطة رقم ٣

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٦٠٠ كج/سم^2.
- الهبوط فى حدود ٨ سم ويستمر بدون فقد لمدة ساعة على الأقل.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م^3.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٠ (١٥٠ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الدولوميت=٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش ودولوميت مقاس ١٦ مم).
- إستخدام ٤% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط الأولى = ١٢ سم - الهبوط بعد ساعة = ٩ سم.
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٥٥٠ كج/سم^2.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٧٠٠ كج/سم^2.

- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٧٤٧ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٤

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٥٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ٨ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٤٥٠ كج/م٣.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٣٢ (١٤٤ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلىالزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ٨ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٤٦٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٥٥٠ كج/سم٢.
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٥٧٥ كج/سم٢.

الخلطة رقم ٥

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٨٠٠ كج/سم٢.
- الهبوط فى حدود ٥ سم.

الخلطة المقترحة:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٥٠٠ كج/م٣.
- غبار السليكا ١٥% من وزن الأسمنت (٧٥ كج فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٢٥ (١٢٥ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل = ٢٥% من الركام الشامل.
- دولوميت مقاس ١٠ مم = ٢٥% من الركام الشامل.
- دولوميت مقاس ١٦ مم = ٥٠% من الركام الشامل.
- إستخدام ٣,٥% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ٥ سم

- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ٧١٠ كج/سم².
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٨٥٠ كج/سم².

الخلطة رقم ٦

المطلوب:

- مقاومة الضغط = ٢٠٠ كج/سم².
- الهبوط فى حدود ١٠ سم.

الخلطة المقترحة الأولى بدون إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٧٠ كج/م³.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٧٠ (١٨٩ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).

النتائج:

- الهبوط = ١٠ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٢٥ كج/سم².
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٢٠ كج/سم².
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٢٣٠ كج/سم².

الخلطة المقترحة الثانية بإستخدام إضافات:

- أسمنت بورتلاندى عادى ٢٠٠ كج/م³.
- نسبة الماء إلى الأسمنت = ٠,٥٩ (١١٨ لتر ماء فى المتر المكعب خرسانة).
- نسبة الرمل إلى الزلط = ٠,٣٥ : ٠,٦٥ (رمل حرش وزلط مقاس ١٦ سم).
- إستخدام ٣% ملدنات ASTM type G.

النتائج:

- الهبوط = ١٠,٥ سم
- مقاومة الضغط بعد ٧ أيام = ١٥٥ كج/سم².
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم = ٢٠٥ كج/سم².
- مقاومة الضغط بعد ٥٦ يوم = ٢٢٠ كج/سم².

****

الباب السادس
ضبط جودة الخرسانة إحصائيا
Statistical Quality Control

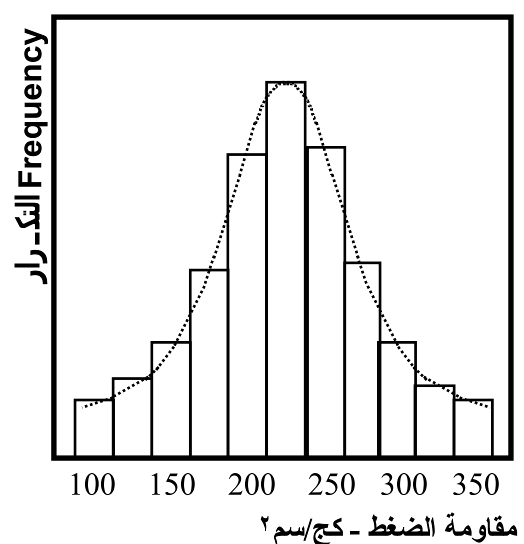
٦–١ التغير فى مقاومة الخرسانة

غالباً فإن مقاومة الخرسانة المنتجة فى الموقع تكون متغيرة من خلطة إلى خلطة وأيضا خلال الخلطة الواحدة. ويرجع هذا التغير إلى عوامل عديدة منها:

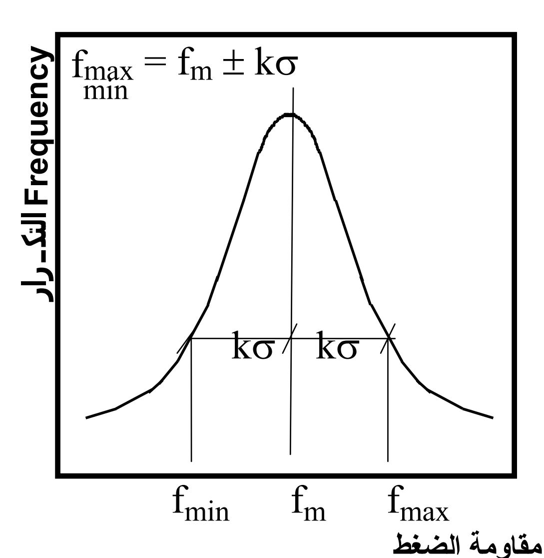
١ـ إختلاف جودة وخواص المكونات (أسمنت ـ ركام ـ ماء ـ إضافات).
٢ـ التغير فى نسبة الماء بالخلطة.
٣ـ التغير فى خطوات صناعة الخرسانة (طريقة الخلط ـ النقل ـ الصب ـ الدمك ـ المصنعية).
٤ـ التغير فى درجة الحرارة أو عملية المعالجة.
٥ـ التغير نتيجة أخطاء فى صناعة قوالب الصب.
٦ـ وجود أخطاء أثناء الإختبار (سرعة الماكينة ـ عدم مركزية العينة ـ الماكينة غير معايرة).

٦–٢ منحنى التوزيع التكرارى

الغرض من ضبط جودة الخرسانة إحصائيا هو تحليل النتائج للوقوف على مدى تجانس وجودة الخرسانة و مطابقتها للمواصفات. فعندما يكون عندنا عدد كبير من النتائج (مقاومة الضغط) فإنه يكون من المفيد تنظيم مجموعة البيانات على شكل توزيع تكرارى (هيستوجرام) كما فى شكل(٦ـ١) حيث يمثل المحور الأفقى قيمة المقاومة (عبارة عن فترات فاصلة) ويمثل المحور الرأسى عدد العينات (التكرار) عند كل مقاومة معينة.



شكل (٦–١) هيستوجرام التكرار



شكل (٦–٢) منحنى التوزيع التكراري

عندما يصل عرض الفترة إلى قيمة صغيرة جداً ($\cong$ صفر) ويكون عدد العينات كبيرجداً ($\cong \infty$) فإن:

⇩

الهيستوجرام يتحول إلى منحنى يعرف بإسم منحنى التوزيع التكراري Distribution Curve.

وعندما تكون النتائج على أبعاد متساوية من القيمة المتوسطة و يكون أكبر عدد من العينات له قيمة مساوية للمتوسط فإن:

⇩

التوزيع يكون طبيعي ويعرف المنحنى بإسم منحنى التوزيع التكرارى الطبيعي Normal Distribution Curve ويكون شكله على شكل الجرس Bell Shape كما فى شكل (٦-٢).
وخصائص منحنى التوزيع التكرارى الطبيعي تعتمد على قيمتى المتوسط (f_m) والإنحراف المعيارى (σ).

$$f_{\max \atop \min} = f_m \pm k\,\sigma$$

حيث k هى معامل الإحتمالات ويعبر عن إحتمال وقوع مقاومة معينة خارج الحدود ($f_m \pm k\,\sigma$) و σ هى الإنحراف المعيارى. أما f_m فتمثل القيمة المتوسطة. وقيمة الانحراف المعياري تعرف على أنها جذر متوسط مربع قيمة الإنحرافات

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n-1}} \quad n > 20 \qquad \text{or} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n}} \quad n \le 20$$

جدول(٦-١) قيمة معامل الإحتمالات

احتمال وقوع مقاومة معينة خارج ($f_m - k\,\sigma$)	احتمال وقوع مقاومة معينة خارج ($f_m \pm k\,\sigma$)	k
%٠,١	%٠,٢	٣,١
%١	%٢	٢,٣٣
%٥	%١٠	١,٦٤
%١٠	%٢٠	١,٢٨
%١٥,٩	%٣١,٨	١,٠

Frequency التكرار
10% 1.28σ 1.28σ 10%
5% 1.64σ 1.64σ 5%
f_m مقاومة الضغط

شكل (٦-٣) خصائص منحنى التوزيع الطبيعى.

٦–٣ المقاومة المتوسطة والمقاومة المميزة

٦-٣-١ المقاومة المميزة (رتبة الخرسانة) Characteristic Strength (f_{cu})

هى قيمة إجهاد كسر المكعب الخرسانى القياسى الذى من غير المحتمل أن يقل عنه أكثر من ٥% من عدد نتائج إختبارات تحديد المقاومة أثناء التنفيذ (درجة ثقة=٩٥%). والمقاومة المميزة هى المقاومة التى يجرى على أساسها المهندس الإنشائى حساباته.

٦-٣-٢ متوسط المقاومة المستهدف Target Mean Strength (f_m)

تصمم خلطة الخرسانة بتحديد محتويات مكوناتها بحيث يكون متوسط المقاومة المستهدف مساويا لمجموع المقاومة المميزة (f_{cu}) مضافاً إليه هامش أمان (M) يكفل الحصول على المقاومة المميزة المطلوبة $f_m = f_{cu} + M$.

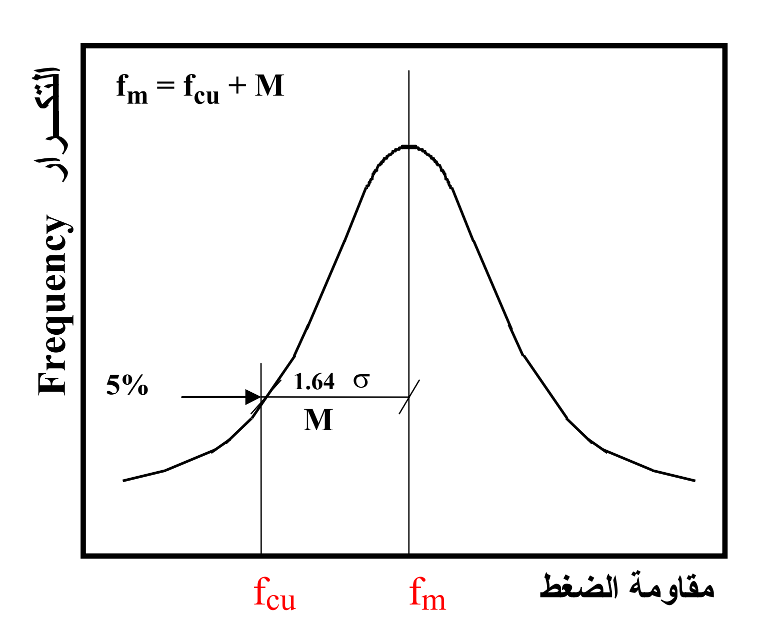
ويمكننا تخيل قيمة (f_m) ، (f_{cu}) على منحنى التوزيع التكرارى كما يلى:

* فى حالة أن يكون مطلوب درجة ثقة Confidence ٩٥% فإن $k = 1.64$ ويكون

$$f_m = f_{cu} + 1.64\,\sigma$$

* فى حالة أن يكون مطلوب درجة ثقة Confidence ٩٠% فإن $k = 1.28$ ويكون

$$f_m = f_{cu} + 1.28\,\sigma$$



شكل (٦–٤) المقاومة المميزة والمقاومة المتوسطة.

٦-٤ مستويات التحكم فى الجودة

استخدم الانحراف المعياري (σ) كمقياس لدرجة ضبط الجودة للخرسانة حيث أنه كلما زادت قيمة σ دل ذلك على ضعف التحكم فى الجودة والعكس صحيح ويمثل جدول (٦-٢) قيم σ المناظرة لدرجة التحكم فى الجودة:

جدول (٦-٢) مستويات التحكم فى جودة الخرسانة طبقا لمعهد أبحاث الخرسانة الأمريكى.

درجة التحكم	ممتازة	جيدة جداً	جيدة	مقبولة	رديئة
σ كج/سم٢	أقل من ٢٨	٢٨-٣٥	٣٥-٤٢	٤٢ - ٤٩	أكبر من ٤٩

ونظراً لأن قيمة الإنحراف المعيارى تعتمد على قيمة المقاومة فقد وُجد أنها تكون كبيرة نسبيا فى حالة الخرسانة عالية المقاومة وبالتالى يكون من الأفضل إستخدام معامل الإختلاف (v) بدلاً من الإنحراف المعيارى (σ) فى تحديد مستوى التحكم فى الجودة كما فى جدول (٦-٣).

$$v = \frac{\sigma}{f_m}$$

$$f_m = f_{cu} + k\,v\,f_m \quad \rightarrow \quad f_{cu} = f_m\,(1-kv)$$

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1-kv}$$

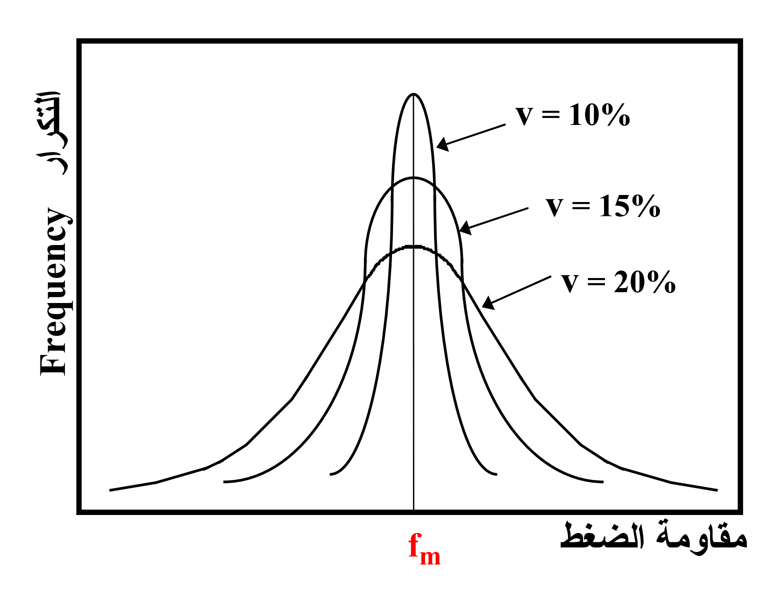
فإذا كانت درجة الثقة ٩٥ % فإن قيمة k تكون ١,٦٤.
أما إذا كانت درجة الثقة ٩٠ % فإن قيمة k تكون ١,٢٨.

تدريب: أحسب كلاً من قيمتى الإنحراف المعيارى (σ) ومعامل الإختلاف (v) للمجموعتين الآتيتين وعلق على النتائج.

المجموعة الأولى خرسانة تقليدية: ٢٠٠ ، ٢١٠ ، ٢٢٠ كج/سم^{٢}
المجموعة الثانية خرسانة عالية المقاومة: ١٠٠٠ ، ١٠٥٠ ، ١١٠٠ كج/سم^{٢}

جدول (٦-٣) مستويات التحكم فى جودة الخرسانة طبقا لقيمة معامل الإختلاف.

درجة التحكم	ممتازة	جيدة	مقبولة	ضعيفة
v %	أقل من ١٠	١٠ - ١٥	١٥ - ٢٠	أكبر من ٢٠



شكل (٦–٥) تأثير معامل الإختلاف على شكل منحنى التوزيع.

ومن الجدير بالذكر أن شكل منحنى التوزيع التكرارى يتأثر كثيراً نتيجة التغير فى قيمة معامل الإختلاف (v) حيث يزداد تدبباً كلما قل التغير فى قيمة مقاومة الضغط وبالتالى قلت قيمة (v) كما بالشكل (٦-٥).

٦–٥ الحكم على نتيجة إختبار الخرسانة

وعموماً فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية قد أعتبر الخرسانة مستوفية لرتبة الخرسانة المميزة المطلوبة أثناء التنفيذ إذا تحقق مايلى:

١- إذا كان عدد مكعبات الضغط للخرسانة أكثر من ٢٠ عينة فيشترط أن لا تزيد عدد نتائج اختبارات المكعبات التي تقل عن المقاومة المميزة المطلوبة على قراءة واحدة لكل عشرين قراءة (٥٪) كما يشترط أن لا يزيد الفرق بين أكبر قراءة وأصغر قراءة (المدى) على ٢٥٪ من متوسط جميع القراءات.

٢- إذا كان عدد مكعبات الضغط للخرسانة أقل من ٢٠ مكعب فيشترط أن لا تقل أية نتيجة إختبار عن المقاومة المميزة المطلوبة كما يشترط أن لا يزيد الفرق بين أكبر قراءة وأصغر قراءة (المدى) على ٢٥٪ من متوسط جميع القراءات.

٦–٦ تطبيــقات

٦-٦-١ تصميم الخلطة الخرسانية اللازمة لمشروع جديد

هنا يكون المطلوب هو حساب قيمة المقاومة المتوسطة f_m التى تحقق قيمة معينة للمقاومة المميزة f_{cu} (بمعنى قيمة المقاومة التى من المحتمل أن لا يقل عنها إلا نسبة معينة) وذلك بدلالة درجة التحكم المتوقع فى الجودة.

مثال ١: أحسب المقاومة المتوسطة المطلوبة لتصميم خلطة خرسانية إذا كانت قيمة المقاومة المميزة التى صُمم عليها المشروع هى ٢٥٠ كجم/سم٢ (لا يقل عنها أكثر من ٥٪ من النتائج) وذلك فى حالتى ودرجة تحكم فى الجودة جيدة ومقبولة.

الحـــــل

أ- حالة تحكم جيدة (v=0.125)

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1-1.64v} = \frac{250}{1-1.64\ (0.125)} = 314.5\ \ kg/cm^2$$

ب- حالة تحكم مقبولة (v=0.175)

$$f_m = \frac{f_{cu}}{1-1.64v} = \frac{250}{1-1.64\ (0.175)} = 350.6\ \ kg/cm^2$$

٦-٦-٢ تعيين قيمة المقاومة المميزة

إذا كانت قيمة المقاومة المتوسطة لعدد من العينات معروفة عند درجة معينة من التحكم فى الجودة فما هى قيمة المقاومة المميزة التى يتم تصميم المشروع إنشائياً عليها (التى يتوقع أن لايقل عن قيمتها إلا نسبة معينة من النتائج).

مثال ٢ : إذا كان متوسط مقاومة الضغط لخلطة خرسانية هو ٢٧٥ كجم/سم٢ وكان الإنحراف المعيارى مساوياً ٢٠ كجم/سم٢. فما هى قيمة المقاومة التى يتوقع أن لايقل عن قيمتها أكثر من ١٠٪ من النتائج (٩٠٪ درجة ثقة).

الحـــــل

$f_{cu} = f_m\ (1\text{-}kv)$ or $f_{cu} = f_m - k\ \sigma$

فى حالة درجة ثقة ٩٠% فإن قيمة k تساوى ١,٢٨

$$f_{cu} = 275 - 1.28\ (20) = 249.4\ kg/cm^2$$

٦-٦-٣ الحكم على صلاحية خرسانة منشأ

يمكن الحكم على صلاحية خرسانة منشأ قائم بالفعل وذلك بحساب قيمة التغير فى مقاومة الضغط (التى يمكن قياسها بإستخدام الإختبارات غير المتلفة مثل مطرقة شميدت) وحساب المقاومة التى تحقق درجة ثقة ٩٥% ثم مقارنتها بقيمة المقاومة المميزة التى تم التصميم عليها بالفعل وبالتالى الحكم بقبول أو رفض الخرسانة.

مثال ٣ : عند الحكم على صلاحية خرسانة للبلاطة العاوية لمدرسة ابتدائية بالدرتهلية تم قياس مقاومة الضغط لعدد ١٧ مكعب مختلف وكانت المقاومة كما يلى:

٢١٨ - ١٨٤ - ١٧٧ - ٢١٥ - ١٨٦ - ١٧٣ - ٢٠٩ - ١٤٢ - ١٥٣ - ١٨٧ ١٨١ - ١٩٣ - ١٤٧ - ٢١٣ - ٢٣١ - ٢٠٠ - ٢٢١.

فما هى قيمة المقاومة الفعلية للخرسانة (درجة ثقة ٩٥٪) وهل تُقبل الخرسانة أم تُرفض إذا كانت المقاومة المميزة التى تم التصميم على أساسها هى ٢٠٠ كج /سم٢ ؟

الحـــــل

ابتداء فإن الخرسانة مرفوضة ولا تحقق الشروط التى صُممت من أجلها وذلك لوجود أكثر من نتيجة قيمتها أقل من قيمة المقاومة المميزة التى تم التصميم على أساسها وهى ٢٠٠ كج /سم٢ وذلك ضمن عدد عينات أقل من عشرين عينة. أما لحساب قيمة المقاومة الفعلية للمجموعة فينبغى حساب قيمة الإنحراف المعيارى كمايلى:

المفردات	الإنحراف	مربع الإنحراف
٢١٨	+٢٨	٧٨٤
١٨٤	-٦	٣٦
١٧٧	-١٣	١٦٩
٢١٥	+٢٥	٦٢٥
١٨٦	-٤	١٦
١٧٣	-١٧	٢٨٩
٢٠٩	+١٩	٣٦١
١٤٢	-٤٨	٢٣٠٤
١٥٣	-٣٧	١٣٦٩
١٨٧	-٣	٩
١٨١	-٩	٨١
١٩٣	+٣	٩
١٤٧	-٤٣	١٨٤٩
٢١٣	+٢٣	٥٢٩
٢٣١	+٤١	١٦٨١
٢٠٠	+١٠	١٠٠
٢٢١	+٣١	٩٦١
المتوسط= ١٩٠	**صفر**	**المجموع= ١١١٧٢**

$$\sigma = \sqrt{\frac{11172}{17}} = 25.6 \ \text{kg/cm}^2$$

$$v = 25.6\,(100) / 190 = 13.5\ \%$$

$$f_{cu} = f_m\,(1-kv)$$

$$f_{cu} = 190\,(1-1.64 \times 0.135)$$
$$= 147.9\ \text{kg/cm}^2 < 200$$

∴ **الخرسانة ترفض ويمكن إعادة حسابات التصميم على أساس مقاومة مميزة ١٤٧,٩ فقط بدلا من ٢٠٠ كج/سم٢ .**

٦–٧ التحليل الإحصائى لمجموعة البيانات المفردة

٦-٧-١ مقاييس المركزية

أ – المتوسط *Average* $\bar{X} = \dfrac{\sum x}{n}$

مميزاته : هو أكثر المقاييس شيوعاً - سهل الفهم - يأخذ جميع البيانات فى الإعتبار.
عيـوبه : يتأثر بالقيم المتطرفة.

مثال : ١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ⇐ المتوسط = ٢٠
٤ ، ١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ⇐ المتوسط = ١٦
١٩ ، ٢٠ ، ٢١ ، ٧٦ ⇐ المتوسط = ٣٤

ب– الوسيط *Median*

هو القيمة التى عندها عدد البيانات الأقل منها يساوى عدد البيانات الأكبر منها أو هو قيمة الحد الذى ترتيبة $(\frac{N+1}{2})$.

مميزاته : لا يتأثر بالقيم المتطرفة - يمكن فهمه بسهولة.
عيـوبه : يحتاج إلى ترتيب البيانات تنازلياً أو تصاعدياً حتى يمكن حسابه .

مثال : ٩ ، ٥ ، ١٠ ، ١٢ ، ١٥ ⇐ الوسيط = ١٠
١٣ ، ١٧ ، ١١ ، ١٩ ، ١٠ ⇐ الوسيط = ١٣

ج– المنوال *Mode*

المنوال هو القيمة الأكثر تكراراً فى المجموعة.

مميزاته : لا يتأثر بالقيم المتطرفة - يمكن فهمة بسهولة (مثل الوسيط).
عيـوبه: فى كثير من الأحيان لا يوجد منوال حيث لا يتكرر العدد أكثر من مرة وفى حالات أخرى يكون هناك أكثر من منوال.

٦-٧-٢ مقاييس التشتت

أ - المدى = القيمة القصوى - القيمة الصغرى.

ب- الانحراف المعياري (σ) هو الجذر التربيعى لمتوسط مربع إنحراف المفردات عن المتوسط .

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{n}}$$

و الانحراف المعياري له نفس وحدات المفردات ويتأثر بقيم المفردات.

ج- معامل الإختلاف هو مقياس للتشتت النسبى أو الإنحراف النسبى.

$$v = \frac{\sigma}{\bar{\bar{X}}}$$

مثال : **احسب قيم v , σ للمجموعتين الآتيتين**:

١- خرسانة معتادة ٢٠٠ ، ٢١٠ ، ٢٢٠ كج/سم^٢.

٢- خرسانة عالية المقاومة ١٠٠٠ ، ١٠٥٠ ، ١١٠٠ كج/سم^٢.

الحـــــــل

المجموعة الأولى: المتوسط = (٢٠٠ + ٢١٠ + ٢٢٠) ÷ ٣ = ٢١٠ كج/سم^٢

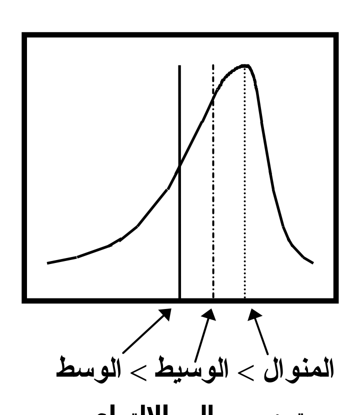
$$\sigma = \sqrt{\frac{(10)^2 + (-10)^2 + (0)^2}{3}} = 8.16 \ \ kg/cm^2$$

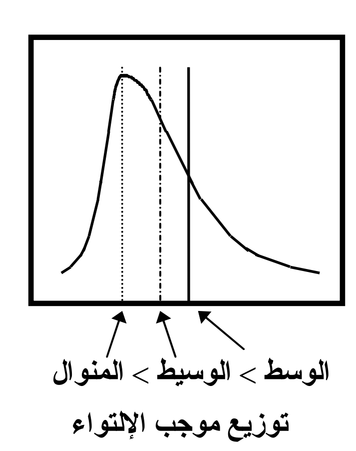
$$v = \frac{8.16}{210} \ x\ 100 \ = \ 3.89 \ \%$$

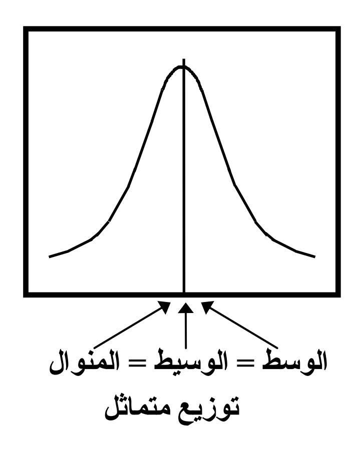
المجموعة الثانية: المتوسط = (١٠٠٠ + ١٠٥٠ + ١١٠٠) ÷ ٣ = ١٠٥٠ كج/سم^٢

$$\sigma = \sqrt{\frac{(50)^2 + (-50)^2 + (0)^2}{3}} = 40.82 \ \ kg/cm^2$$

$$v = \frac{40.82}{1050} \ x\ 100 \ = \ 3.89 \ \%$$







شكل (٦-٦) أشكال الإلتواء المختلفة

٦-٧-٣ أشكال التوزيعات التكرارية

أ- **الإلتواء** : يكون الإلتواء صفراً إذا كان التوزيع متماثل حول الوسط الحسابى

ويكون التوزيع موجب الإلتواء عندما يكون الوسط < الوسيط < المنوال

ويكون التوزيع سالبا الإلتواء عندما يكون الوسط > الوسيط > المنوال

$$\text{معامل الإلتواء} = \frac{3\,(\text{المتوسط} - \text{الوسيط})}{\sigma}$$

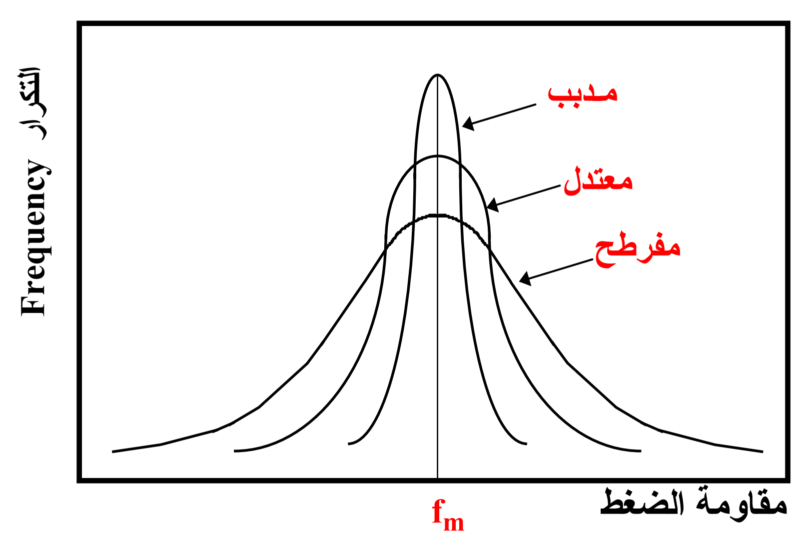
ب - **التفرطح**

$$\text{معامل التفرطح} = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{\sigma^4}$$

معامل التفرطح للتوزيع المعتدل = ٣

" " " المفرطح < ٣

" " " المدبب > ٣



شكل (٦-٧) أشكال التوزيعات التكرارية من حيث التفرطح.

مثال : أحسب قيم المدلولات التى يمكن منها تقييم نتائج مقاومة الضغط للمجموعات التالية من عينات الخرسانة : المجموعة الأولى (٤١٠ - ٤١٢ - ٣٩٥ - ٤١٥ كج/سم٢)
المجموعة الثانية (٣٨٥ - ٤٠٢ - ٣٠٥ - ٥٤٠ كج/سم٢)
ثم احسب قيمة المقاومة التى تحقق درجة ثقة ٩٠٪ بالنسبة للمجموعة الثانية.

الحـــــــل

	المجموعة الأولى	المجموعة الثانية
المفردات مرتبة	٣٩٥ ، ٤١٠ ، ٤١٢ ، ٤١٥	٣٠٥ ، ٣٨٥ ، ٤٠٢ ، ٥٤٠
المتوسط كج/سم٢	٤٠٨	٤٠٨
المدى كج/سم٢	٢٠ (٤,٩% من المتوسط)	٢٣٥ (٥٧,٦% من المتوسط)
الإنحرافات كج/سم٢	-١٣ ، +٢ ، +٤ ، +٧	-١٠٣ ، -٢٣ ، -٦ ، ١٣٢
الإنحراف المعيارى كج/سم٢	٧,٧	٨٤,٦
معامل الإختلاف %	١,٩	٢٠,٧
درجة التحكم فى الجودة	ممتازة	رديئة
المقاومة المميزة كج/سم٢	٣٩٥	٢٦٩

القيمة التى تعطى درجة ثقة ٩٠% فى المجموعة الثانية:

$$f_{cu} = f_m (1 - kv) = 408 (1 - 1.28 * 0.207) \cong 300 \text{ kg/cm}^2$$

****

٦–٨ توزيع البيـانات

إذا كان عندنا مجموعة من البيانات كثيرة العدد نسبياً ومطلوب إستخلاص المدلولات الفنية والحكم على هذه المجموعة ومدى تجانسها فإنه يمكن توزيعها على هيئة شرائح أو فئات بإتباع الخطوات الآتية:

١- نوجد المدى الذى يقع داخلة جميع القراءات (المدى = أكبر قيمة - أقل قيمة)
٢- نحدد عرض الشريحة الذى يجعل عدد الشرائح دائما = ١٠ ± ٢

عدد الشرائح = $\frac{\text{المـــدى}}{\text{عرض الشريحة}}$ +١	أو عرض الشريحة = $\frac{\text{المــدى}}{\text{عدد الشرائح - ١}}$

مثال: إذا كان المدى = ١٦٠ كج/سم٢ فإن عرض الشريحة = ١٦٠ ÷ (عدد الشرائح - ١)
إذن ممكن نأخذ عدد الشرائح = ٩ وعرضها ٢٠ كج/سم٢
أو نأخذ عدد الشرائح = ١١ وعرضها ١٦ كج/سم٢

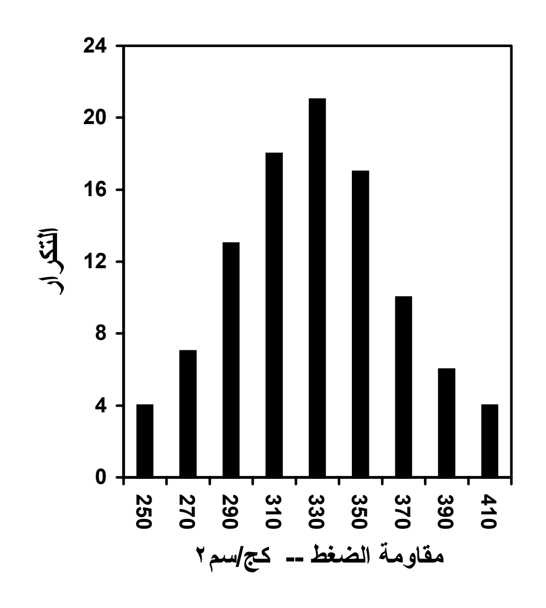
أما إذا كان المدى = ١٦٣ كج/سم٢ ففى هذه الحالة يمكننا توزيع الـ ٣ فى أول شريحة وآخر شريحة بمعنى أننا عندنا شريحة زيادة دائما لمثل هذه الفروق (نضع نصف شريحة فى الأول ونصف شريحة فى النهاية) وسنرى ذلك فى مثال شامل فيما بعد.

٣- نعمل جدول مختصر وفية نضع جميع الأرقام على صورة شرائح أو فئات

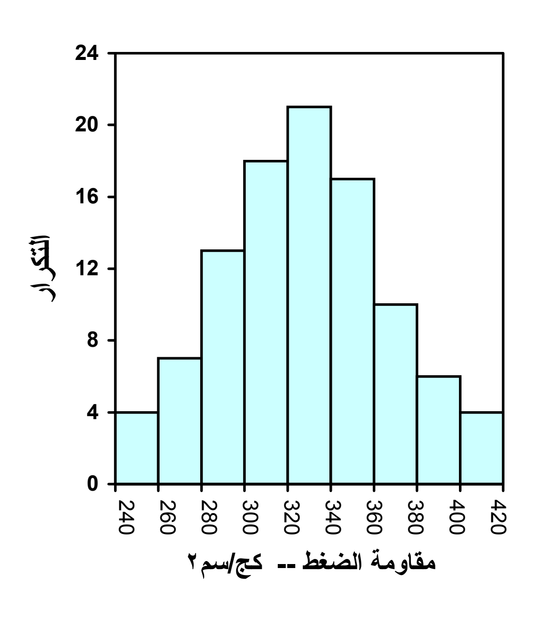
رقم الشريحة	حدود الشريحة	المتوسط	التكرار
١	٢٤٥ - ٢٥٥	٢٥٠	٤
٢	٢٥٥ - ٢٦٥	٢٦٠	٦
:	:	:	:
:	:	:	:
٩	٣٢٥ - ٣٣٥	٣٣٠	٢

٤- يترجم الجدول السابق إلى الرسومات البيانية الآتية:

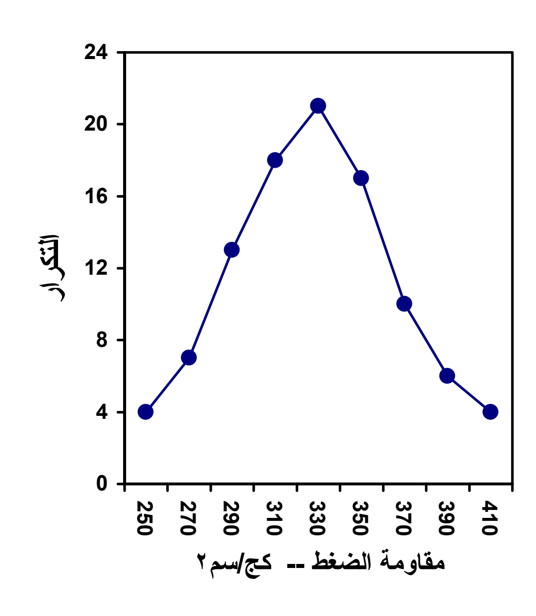
أ - لوحة قضبان التكرار (بين المتوسـط والتكـرار)
ب- مضلع التكرار أو المنحنى التكرارى (,, ,, ,,)
ج- هيستوجرام التكرار (بين حدود الشريحة والتكرار)
د- المنحنى التكرارى التجميعى (,, ,, ,, ,, ,,)



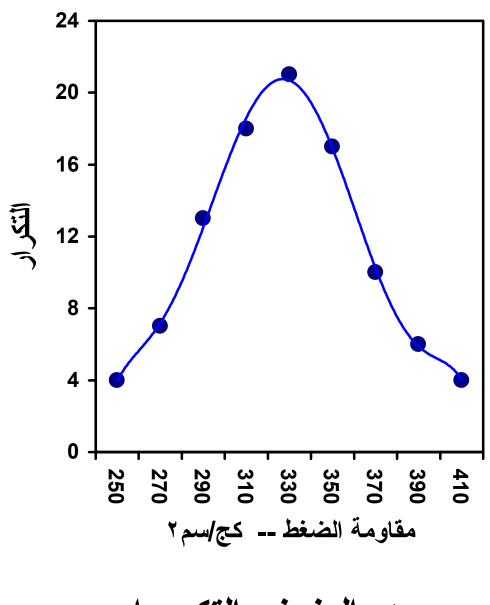




ب- هيستوجرام التكرار

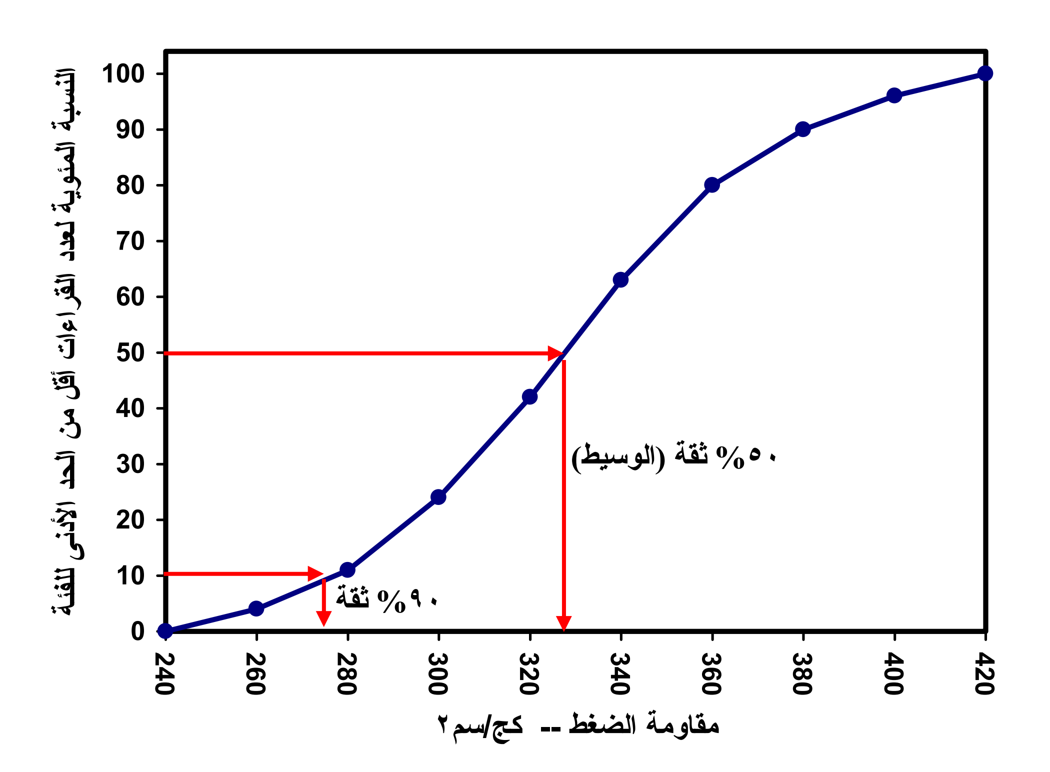


ج- مضلع التكـــرار



د- المنحنى التكـــراري

شكل (٦–٨) الأشكال البيانية المختلفة للتوزيعات التكرارية.



شكل (٦–٩) المنحنى التكرارى التجميعى.

مثال: إذا كان لدينا عدد ٢٥٠ قراءة لمقاومة الضغط وكان أقل القراءات هو ٢٥١ كج/سم٢ وأكبرها ٣٤٨ كج/سم٢ حدد عدد الشرائح المناسب وحدود أول شريحة وآخر شريحة حتى يمكننا تحليلها إحصائيا.

الحـــــل

$$\text{عدد الشرائح} = \frac{\text{المـــدى}}{\text{عرض الشريحة}} + ١$$

المدى = ٣٤٨ ـ ٢٥١ = ٩٧ كج/سم٢

هنا نفترض جدلاً أن المدى = ١٠٠ بدلاً من ٩٧ وذلك فى حالة تنظيم الشرائح فقط .

بمعنى أن المدى = (٣٥٠-٢٥٠) بحيث نضع أى فرق فى نصف الشريحة الأولى ونصف الشريحة الأخيرة.

$$\text{عدد الشرائح} = \frac{١٠٠}{\text{عرض الشريحة}} + ١$$

∴ نأخذ عرض الشريحة = ١٠ كج/سم٢ والعدد = ١١ شريحة

- بداية أول شريحة = أصغر قيمة (مفترضة) ـ نصف عرض شريحة
  = ٢٥٠ ـ ٥ = ٢٤٥ كج/سم٢
  ∴ حدود الشريحة الأولى = ٢٤٥ إلى ٢٥٥

- نهاية الشريحة الأخيرة = أكبر قيمة (مفترضة) + نصف عرض شريحة
  = ٣٥٠ + ٥ = ٣٥٥ كج/سم٢
  ∴ حدود الشريحة الأخيرة = ٣٤٥ إلى ٣٥٥

****

مثال: لضبط جودة خرسانة صهريج مياه أخذت عينات من الخرسانة أثناء مراحل التنفيذ وإختبرت مقاومة الضغط للعينات القياسية فكانت وفقا للجدول الآتى:

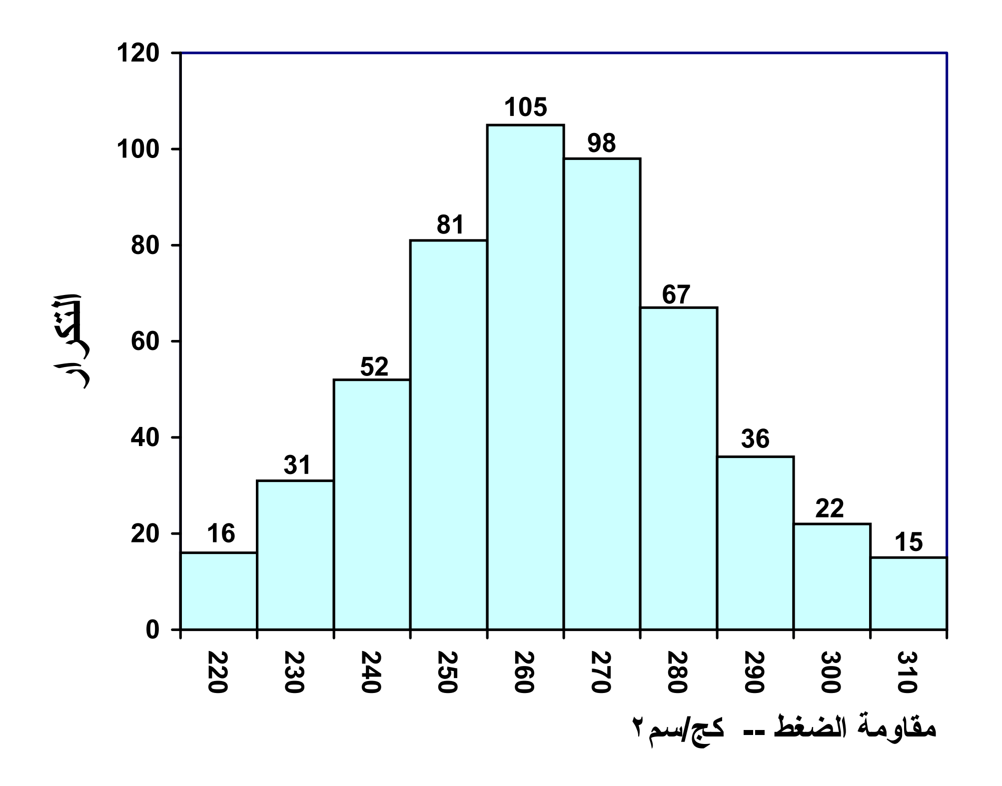
رقم الفئة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
حدود الفئة كج/سم٢	٢١٥ ٢٢٥	٢٢٥ ٢٣٥	٢٣٥ ٢٤٥	٢٤٥ ٢٥٥	٢٥٥ ٢٦٥	٢٦٥ ٢٧٥	٢٧٥ ٢٨٥	٢٨٥ ٢٩٥	٢٩٥ ٣٠٥	٣٠٥ ٣١٥
التكـــرار	١٦	٣١	٥٢	٨١	١٠٥	٩٨	٦٧	٣٦	٢٢	١٥

إرسم كلاً من هيستوجرام التكرار ومنحنى التكرار التجميعى ومنحنى التوزيع التكرارى ثم إستخلص المدلولات التى يمكن منها معرفة مستوى إنتاج هذه الخرسانة ومدى إنتظامها ودرجة جودتها. إحسب أيضا قيمة المقاومة عند درجة ثقة ٩٠% ، ٩٥%.

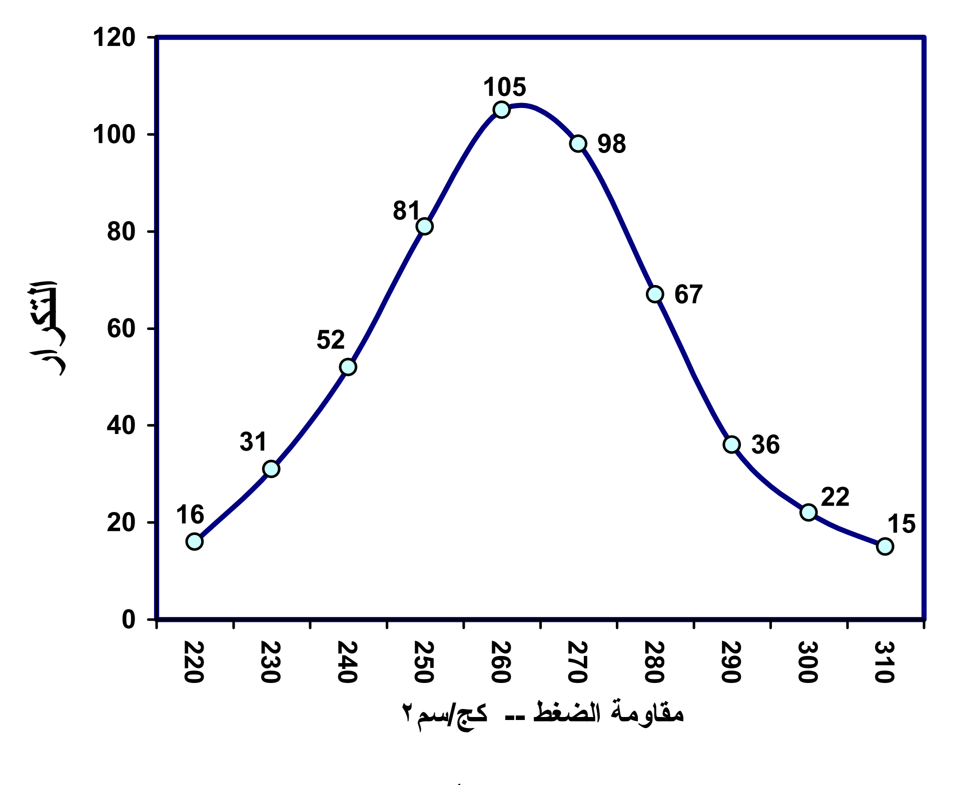


أولاً نكون الجدول الآتى:

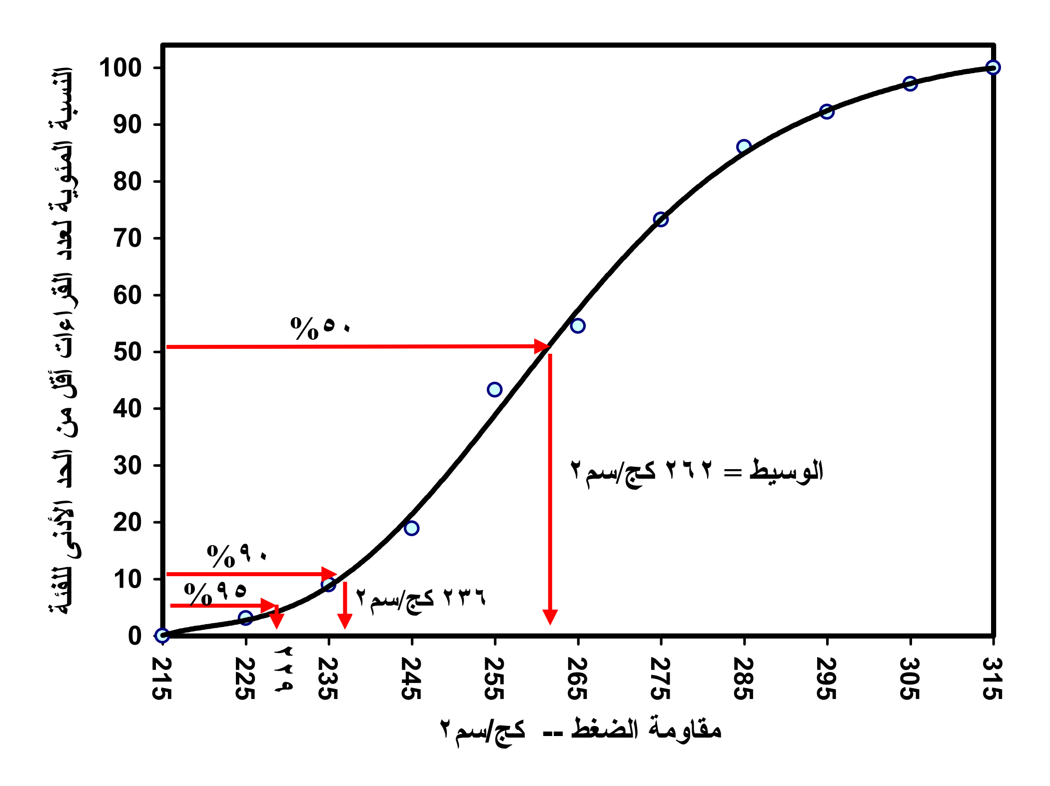
الحد الأدنى للشريحة	٢١٥	٢٢٥	٢٣٥	٢٤٥	٢٥٥	٢٦٥	٢٧٥	٢٨٥	٢٩٥	٣٠٥	٣١٥
عدد القراءات أقل من الحد الأدنى	صفر	١٦	٤٧	٩٩	١٨٠	٢٨٥	٣٨٣	٤٥٠	٤٨٦	٥٠٨	٥٢٣
عدد القراءات %	صفر	٣,١	٩	١٨,٩	٤٣,٣	٥٤,٥	٧٣,٢	٨٦,٠	٩٢,٢	٩٧,١	١٠٠



هيستوجرام التكرار



المنحنى التكراري.



منحنى التوزيع التكراري التجميعى.

ثانياً مقاييس المركزية:

١- المتوسط $\overline{X} = \dfrac{\sum nx}{N}$

حيث X متوسـط الفئة

n تكـــرار الفئة

N العدد الكلى للعينات

$$\frac{220x16 + 230x31 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + 310x15}{523} =$$ ٢٦٣,٠٨ كج/ سم٢

٢- الوسـيط = ٢٦٢ كج/سم٢ (من منحنى التكرار التجميعى)

٣- المنـوال = ٢٦٠ كج/سم٢ (من جدول التكرار أو هيستوجرام التكرار)

ومن هنا يتضح أن المنحنى موجب الإلتواء حيث أنه يميل قليلاً جداً ناحية القيم الأقل من المتوسط.

ثالثاً مقاييس التشتت:

١- الانحراف المعيارى

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum n(x-\bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{16(220-263.8)^2+31(230-263.8)^2+..........+15(310-263.8)^2}{523-1}} = 20.5\ kg/cm^2$$

٢- معامل الإختلاف = الانحراف المعياري / المتوسط = (٢٠,٥ × ١٠٠) / ٢٦٣,٠٨ = ٧,٧٩ %

إذن طبقا لتقييم ACI فإن التحكم فى ضبط الجودة ممتاز

رابعاً حساب قيمة المقاومة التى تعطى درجة ثقة معينة تحليليا وبيانيا:

أ- تحليلياً:

- درجة ثقة ٩٠%

$$f_{cu} = f_m(1 - kv) = 263.08\ (1 - 1.28 * 0.0779) = 236.85\ \ kg/cm^2$$

- درجة ثقة ٩٥%

$$f_{cu} = f_m(1 - kv) = 263.08\ (1 - 1.64 * 0.0779) = 229.47\ \ kg/cm^2$$

ب- بيانياً:

من منحنى التكرار التجميعى

$$f_{cu}\ (90\%) \cong 236\ \ kg/cm^2$$
$$f_{cu}\ (95\%) \cong 229\ \ kg/cm^2$$

وبصفه عامة فإنة طبقا للتقييم بكل من σ ، v فإن درجة التحكم فى الجودة تعتبر ممتازة حيث الإنحراف المعيارى (σ) أقل من ٢٨ كج/سم٢ و معامل الإنحراف (v) أقل من ١٠%.

أما عن مدى إنتظام النتائج فيوجد التواء خفيف جداً فى المنحنى ناحية القيم الأقل من المتوسط.

****

الباب السابع
خواص و إختبارات الخرسانة الطازجة
Properties and Testing of Fresh Concrete

٧-١ مقدمة Introduction

تمر الخرسانة من لحظة إضافة الماء لها وحتى إنتهاء عمرها الإفتراضى بالمراحل الثلاثة الآتية:

أ- الخرسانة الطازجة Fresh Concrete

وهى الخرسانة التى تبدأ من لحظة إضافة الماء إلى مكونات الخرسانة الجافة وحتى لحظة حدوث زمن الشك الإبتدائى. وتمتاز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط والنقل والصب.

ب- الخرسانة الخضراء Green Concrete

وهى الخرسانة المتكونة فى الفترة من بداية شك الأسمنت وحتى بداية تصلد الخرسانة أى فى حدود ٢٤ ساعة. وفى هذه المرحلة لا يُسمح للخرسانة بالخلط والنقل والصب لأنها تكون قد شكت كما إنها لا تقوى على تحمل أى نوع من الإجهادات.

ج- الخرسانة المتصلدة Hardened Concrete

وهى تبدأ بتصلد الخرسانة (أى عند عمر ٢٤ ساعة) وحتى نهاية عمرها الإفتراضى وتمتاز هذه المرحلة بأنها بداية زيادة المقاومة الرئيسية للخرسانة (مقاومة الضغط) وقدرتها على مقاومة الأحمال بمرور الزمن.

وتتوقف خواص الخرسانة على التركيب البنائى لها والذى بدوره يتوقف على نوع المواد المكونة للخرسانة وكميتها وكذلك النسب بينها وأيضاً مدى تجانس هذه المواد وتوزيعها وكيفية تماسكها مع بعضها وكذلك تتوقف خواص الخرسانة أيضاً على الظروف التى تتم فيها عملية تصلد الخرسانة. كما تتوقف جودة الخرسانة أيضاً على بعض خواص الخلطة الخرسانية والتى تجعلها قابلة للتشغيل والتشكيل والصب والدمك بأقل جهد ممكن. وبصفة عامة فإن خواص الخرسانة وهى فى حالتيها الطازجة والمتصلدة يجب أن تحقق المواصفات والشروط الخاصة لكل نوع من الخرسانة على حده.

٧-٢ تحضير عينات اختبارات الخرسانة الطازجة

يجب أن تكون العينة الكلية المأخوذة من الخرسانة الطازجة ممثلة تماماً للخلطة كما يجب أن لا يقل حجمها عن ٣٠ لتر (٠,٠٣ متر مكعب) وتتكون هذه العينة من كميات مأخوذة من أماكن متفرقة من الخلطة. وتحضر العينة من الخلطة المجهزة فيموقع العمل Job site بالخلط اليدوي أو من الخلطة المجهزة بالخلاط الميكانيكى - وفى الحالة الأولى تجمع أجزاء العينة الكلية من أماكن متفرقة موزعة توزيعاً منتظماً فى الخلطة مع تجنب حروف الخلطة حيث يحتمل تواجد الإنفصال الحبيبى للخرسانة Segregation. أما فى حالة الخرسانة المخلوطة خلطاً ميكانيكيا فيفرغ الخلاط على دفعات متساوية تقريبا وتحضر أجزاء العينة من ثلاث كميات على الأقل تؤخذ أثناء تفريغ الخلاطة.

وتنقل العينة بعد ذلك إلى مكان الإختبار وتخلط خلطاً تاما على سطح غيرمنفذ للماء بجاروف أو مايماثله لضمان تجانسها وبذلك تكون العينة معدة للإختبار مباشرة. ويجب مراعاة حماية عينة الإختبار من التأثيرات الجوية مثل الشمس والرياح والأمطار والأتربة وذلك فى الفترة بين تحضير العينة وإجراء الإختبارات التى يجب أن لا تزيد عن ١٥ دقيقة ويراعى أن تسجل مع كل عينة البيانات التالية:

- تاريخ ووقت أخذ عينة الإختبار.
- الطريقة المستخدمة فى خلط الخرسانة.
- نسب مكونات المواد المكونة لخلطة الخرسانة.
- مكان الخلط.
- درجة الحرارة والظروف الجوية.

ويلاحظ أن خواص الخرسانة الطازجة المطلوبة لمنشأ خرسانى معين تحدد طبقا لطبيعة المنشأ وكذلك أبعاد القطاعات الخرسانية وكثافة أسياخ التسليح وتكنولوجيا تصنيع الخرسانة من حيث طريقة الخلط والنقل والصب والدمك والمعالجة.

٧-٣ الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة

للخرسانة الطازجة أربعة خواص رئيسية هى:

١- **قوام الخلطة الخرسانية** Consistency
٢- **قابلية التشغيل** Workability
٣- **الإنفصال الحبيبى** Segregation
٤- **النزيف (النضح)** Bleeding

١- القـــوام Consistency

❑ تعريف القـوام:

- يعبر قوام الخرسانة الطازجة عن درجة بلل الخرسانة Degree of Wetness فمثلاً يقال خرسانة جافة القوام Dry أو صلبة القوام Stiff أو لدنة القوام Plastic أو مبتلة القوام Wet أو رخوة القوام Sloppy.

- ويمكن القول بأن قوام الخرسانة يعبر عن السيولة النسبية للخرسانة Relative Fluidity أى أنه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

❑ الغرض من تحديد القوام:

هو ضمان الحصول على خرسانة ذات درجة سيولة أو لدونة تتناسب مع مختلف الأعمال الإنشائية. كما أنه من أهم وأبسط الخواص التى تساعد على التأكد من إنتظامية خلطات الخرسانة الطازجة وتجانسها وضبط جودتها وذلك قبل الصب مباشرة.

❑ العوامل التى تؤثر على القوام:

- نسبة مكونات الخرسانة: من ماء ورمل وزلط وأسمنت حيث يزداد الهبوط بزيادة محتوى الماء فى الخلطة. أو بزيادة نسبة الأسمنت. أو لصغر نسبة الرمل إلى الزلط (أنظر شكل ٧-١).

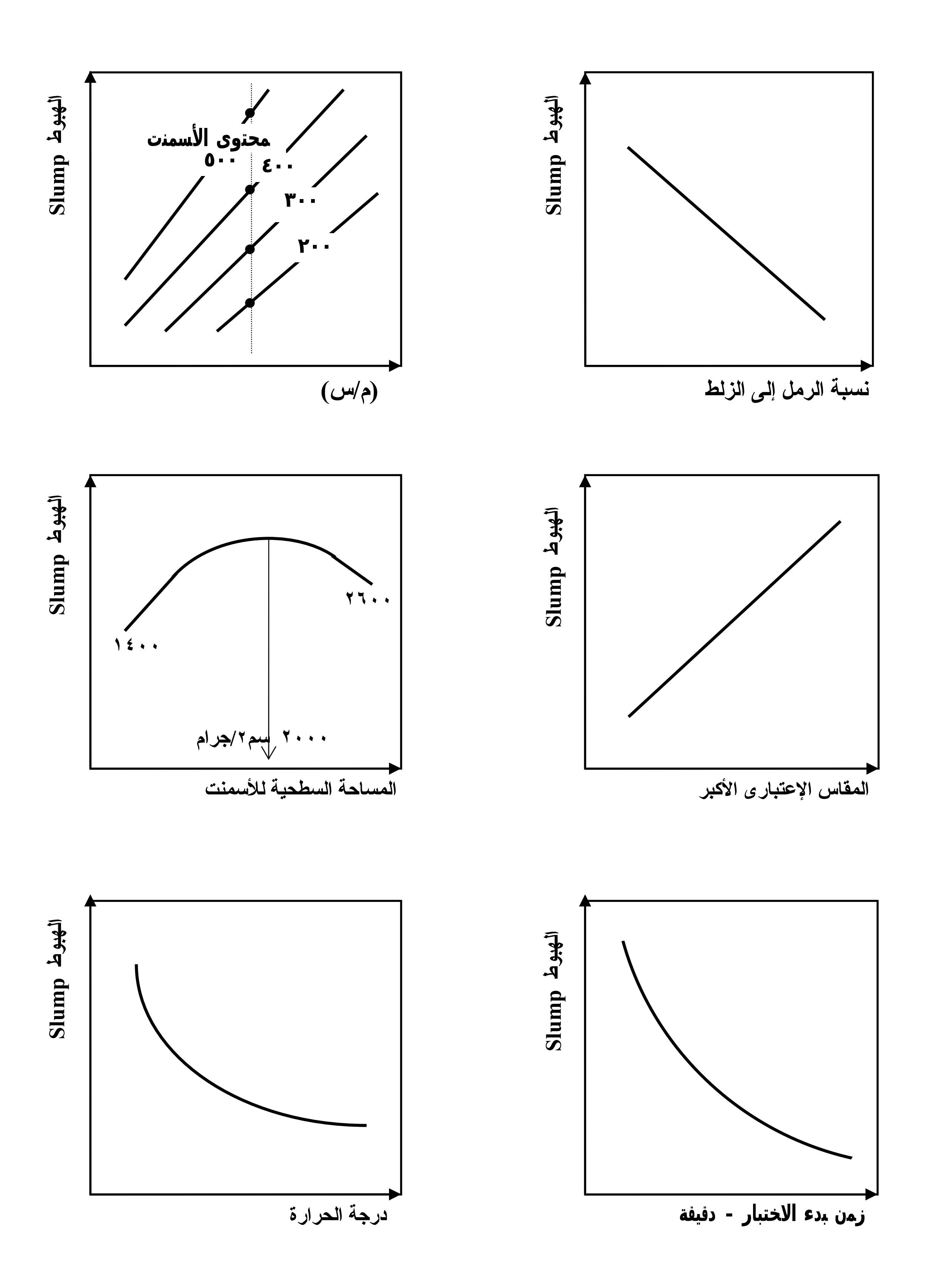
- نعومة الأسمنت (المساحة السطحية للأسمنت) حيث يزداد الهبوط بزيادة المساحة السطحية للأسمنت وحتى حوالى ٢٠٠٠ سم^٢/جم ثم تقل بعد ذلك بشرط ثبوت جميع العوامل الأخرى فى الخلطة الخرسانية كما هو مبين بالمنحنى شكل (٧-١).

- المقـاس الإعتبـارى الأكبر للركام حيث يزداد الهبوط بزيادة ذلك المقاس ويقل كلما صغر حجم الحبيبات.

- الزمن بين الإنتهاء من خلط الخرسانة وبين إجراء إختبار الهبوط حيث يقل الهبوط بزيادة ذلك الزمن كما بشكل (٧-١).

- حرارة الجـو: حيث يقل الهبوط كلما زادت حرارة الجو (نتيجة تبخر جزء من ماء الخلط).

- الإضـافات: تعمل الإضافات على تحسين قوام الخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات الملدنات Superplasticizers هى مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسبة ١ - ٣% من وزن الأسمنت.



شكل (٧-١) العوامل التى تؤثر على قوام الخرسانة.

❒ طرق تعيين القوام:

يوجد ثلاثة طرق رئيسية لتعيين قوام لخرسانة هى:

* هبوط الخرسانة بعد إزالة قالب التشغيل Slump Test.
* إنسياب الخرسانة الطازجة بعد تعرضها لإهتزازات ترددية Flow Test.
* اختراق جسم معدني للخرسانة تحت تأثير وزنة Ball Penetration Test.

أولاً: اختبار الهبوط Slump Test

- الغرض من الاختبار: تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص وذلك إما فى المعمل أو فى موقع التنفيذ. وذلك للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن أي تغيير فى نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر على قيمة الهبوط. ويعتبر هذا الاختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة فى محطات الخلط وفى مواقع التنفيذ.

- قالب الإختبار: عبارة عن مخروط ناقص ومصنوع من معدن متين بسمك ١,٥ مم على الأقل مفتوح من أعلى ومن أسفل ، قطر فتحته العليا ١٠ سم والسفلى ٢٠سم وإرتفاعه ٣٠ سم كما بشكل (٧-٢).

- قضيب الدمك: وهو سيخ من الصلب بقطر ١٥مم وطول ٦٠ سم.



شكل (٧-٢) قالب اختبار الهبوط وقضيب الدمك.

- طريقة إجـراء الاختبار:

- ❑ ينظف السطح الداخلى للقالب بحيث لا توجد به أى مياه عالقة أو آثار خرسانية.
- ❑ يوضع القالب على سطح أفقى أملس غير مُنفذ للماء على أن يثبت جيداً.
- ❑ يملأ القالب على ثلاث طبقات إرتفاع كل منها يساوى ثلث إرتفاع القالب تقريبا على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك ٢٥ مرة موزعه تقريبا على السطح وبشرط أن ينفذ القضيب إلى الطبقة التى تحتها.
- ❑ بعد الانتهاء من دمك الطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب.
- ❑ يرفع القالب بعد ملئة مباشرة فى إتجاه رأسى وببطء وعناية كما بشكل (٧-٣).
- ❑ يقاس مقدار الهبوط Slump بعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين إرتفاع القالب وإرتفاع مركز عينة الخرسانة الطازجة كما بشكل (٧-٤). يتم توصيف القوام إما جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك طبقاً لقيمة الهبوط كما هو موضح بجدول (٧-١).
أما جدول (٧-٢) فيوضح قيم استرشادية للقوام ودرجة الدمك فى بعض الإنشاءات المختلفة.

ملاحظـــات:

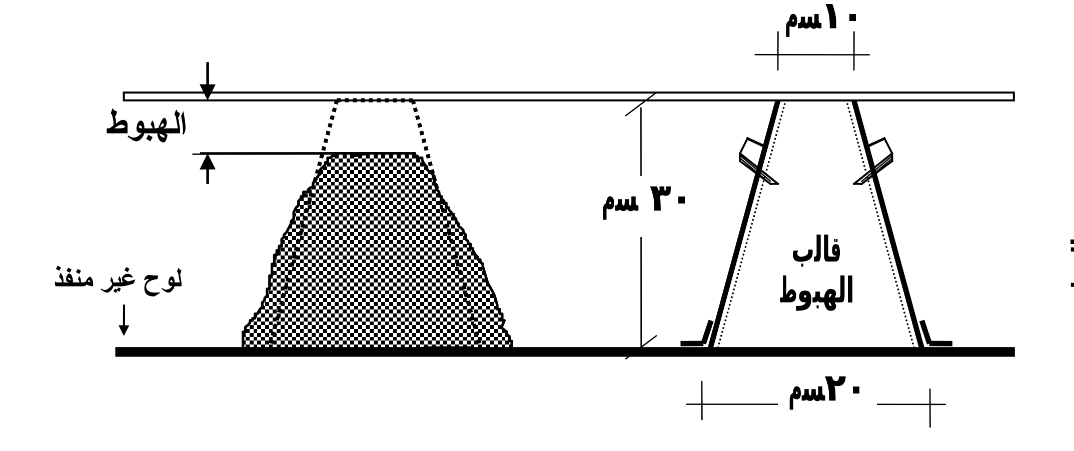
- يجب أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام المستخدم عن ٤٠ مم.
- يجب أن لا تزيد الفترة بين إنتهاء الخلط وبداية إجراء الإختبار عن دقيقتين.
- تحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط فقد يكون هبوطاً حقيقياً True Slump أو هبوط قص Shear Slump أو إنهيار Collapse كما بشكلى (٧-٥) و (٧-٦).
- يراعى اعادة الإختبار على عينة أخرى فىحالة حدوث إنزلاق جانب Slipping فى العينة أو إنهيار .Collapse إذا تكرر ذلك فى حالة إعادة الإختبار فيقاس الهبوط مع تسجيل ذلك مع النتيجة.

جدول (٧-١) قيم الهبوط المناظرة لدرجات قوام الخرسانة المختلفة.

الهبوط (مم)	صفر-٢٠	١٠-٤٠	٣٠-١٢٠	١٠٠-٢٠٠	١٨٠-٢٢٠
قوام الخلطة الخرسانية Consistency	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

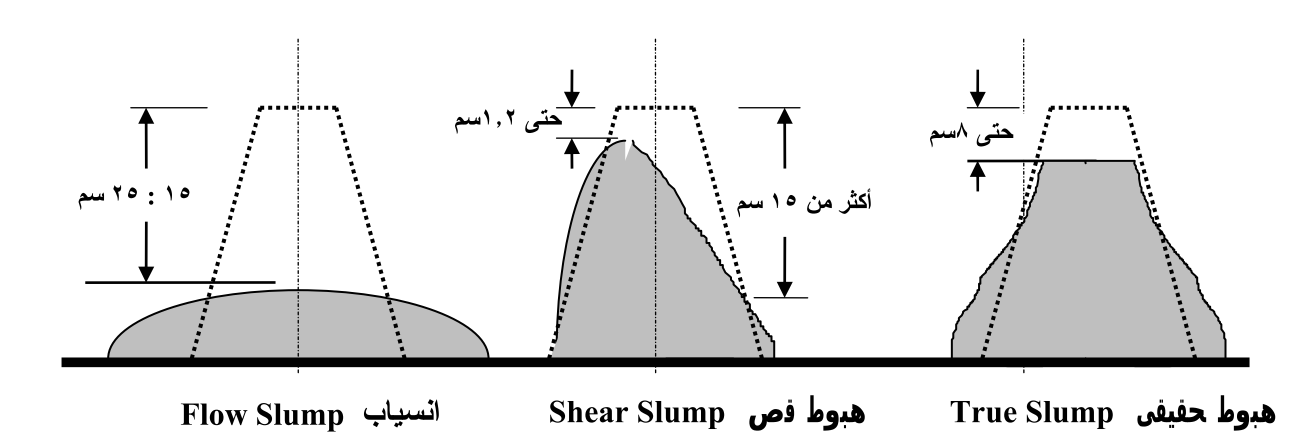


شكل (٧–٣) رفع القالب بعد ملئه فى إتجاه رأسى.

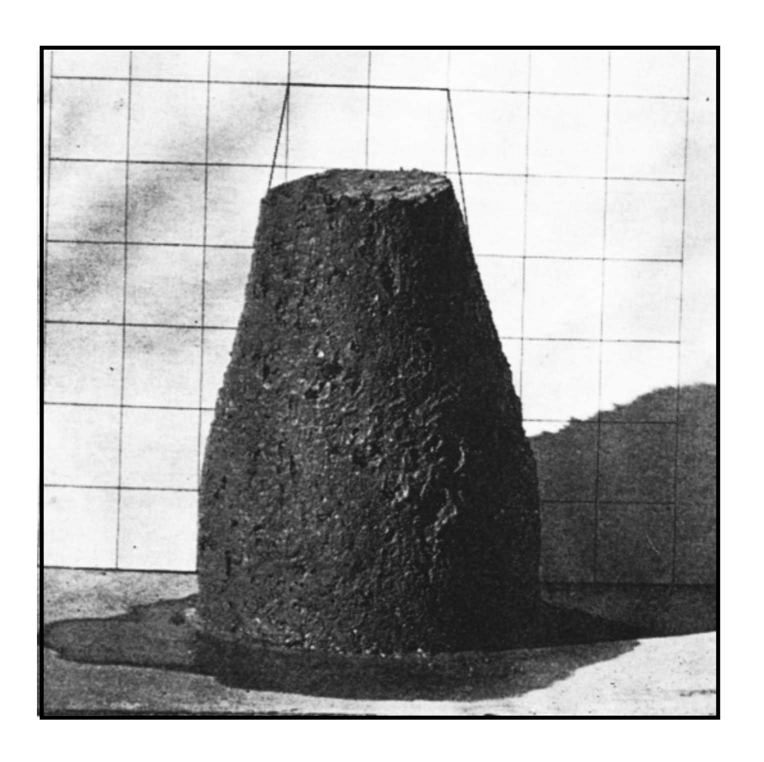




شكل (٧–٤) قياس الهبوط لتحديد قوام الخرسانة الطازجة.



شكل (٧-٥) أشكال الهبوط المختلفة.

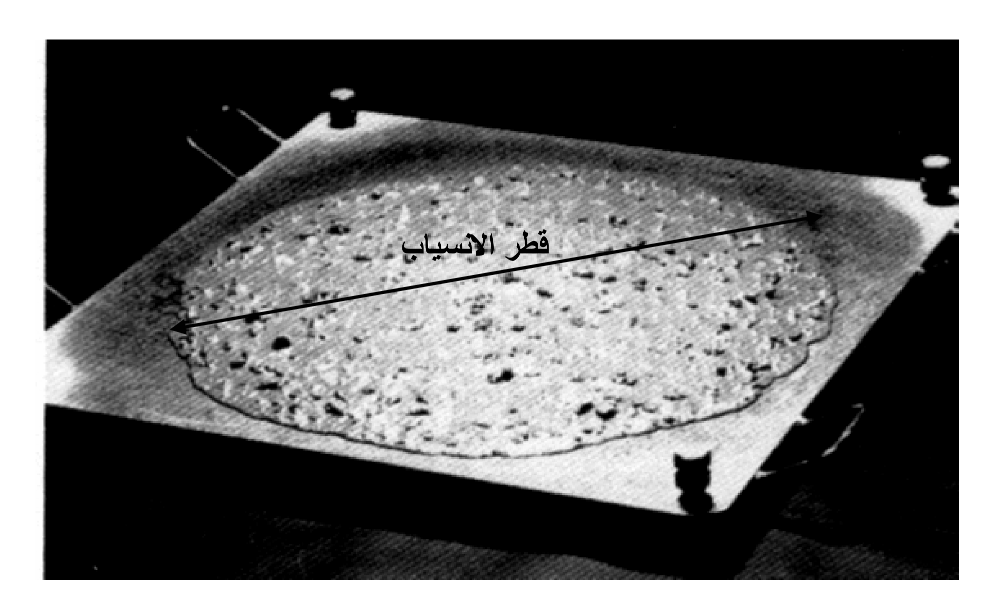


شكل (٧-٦) نموذج للهبوط الحقيقى.

جدول (٧–٢) القوام ومحتوى الأسمنت ومقاس الركام المناسب للأنواع المختلفة من الإنشاءات.

نوع العنصر الإنشائي	درجة الدمك	الهبوط (مم)
خرسانة كتلية.	دمك ميكانيكي	صفر ـ ٢٥
القواعد الخرسانية خفيفة التسليح ومتوسطة التسليح. قطاعات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي	٢٥ : ٥٠
قطاعات خرسانية متوسطة وعالية التسليح. قطاعات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي دمك يدوي	٥٠ : ١٠٠
قطاعات خرسانية كثيفة التسليح.	دمك خفيف	١٠٠ : ١٢٥
أساسات عميقة وخرسانة قابلة للضخ مع استخدام إضافات كيميائية (ملدنات أو ملدنات فائقة)	دمك خفيف	١٢٥ : ٢٠٠

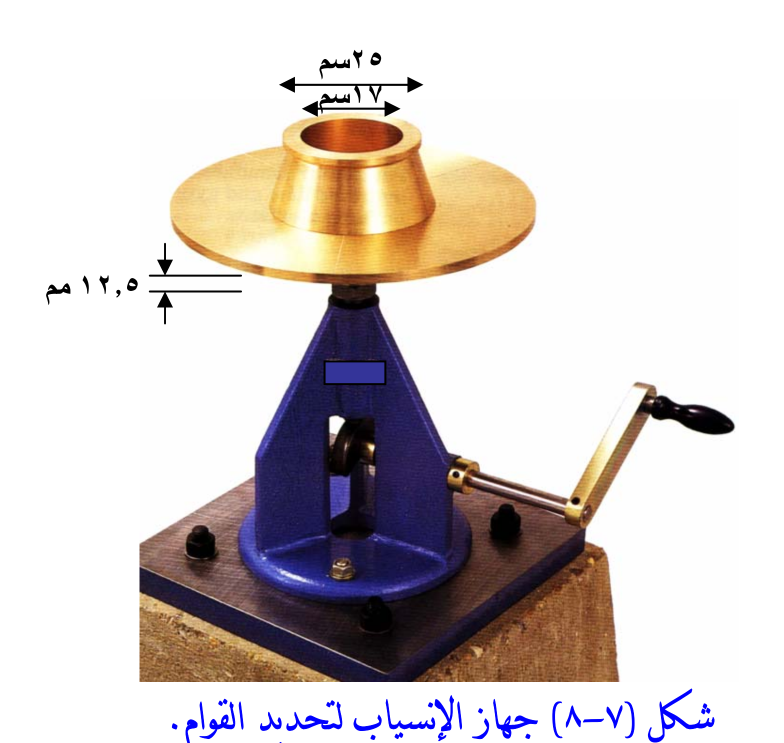
و تجدر الإشارة أنه فى حالة الخرسانة ذات درجة السيولة العالية أو التى يزيد فيها الهبوط عن ٢٢ سم مثل الخرسانة ذاتية الدمك فإنه يتم قياس انسياب الهبوط وهو القطر المتوسط للخرسانة المنسابة بعد رفع مخروط الهبوط. وفى الخرسانة ذاتية الدمك فيشترط أن لا يقل انسياب الهبوط عن ٦٠ : ٧٠ سم كما بشكل (٧-٧).



شكل (٧–٧) انسياب الهبوط فى الخرسانة ذاتية الدمك.

ثانـياً : اختبار الانسياب Flow Test

يختص هذا الاختبار بتعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة والتى تُعبر عن حالة القوام وذلك بإجراء إهتزاز ترددى لمخروط ناقص من الخرسانة موضوع على لوح معدنى وتسجيل مدى إنتشار أو انسياب الخرسانة كنسبة مئوية من القطر الأصلي لقاعدة المخروط.



شكل (٧-٨) جهاز الإنسياب لتحديد القوام.

الأجهـزة :

- قالب الإختبار : وهو عبارة عن قالب معدنى على شكل مخروط ناقص ويكون هذا القالب مفتوحاً من أعلى ومن أسفل بمستويين عموديين على محور المخروط.
- قرص الإنسياب (Flow Table) ويثبت القرص على قاعدة جاسئة بإرتفاع من ٤٠-٥٠ سم بوزن ١٥ كج على الأقل.

طريقة إجراء الإختبار:

١- ينظف القرص جيداً بالماء ثم يجفف بعناية حيث لا يبقى به أثر لماء التنظيف.

٢- يوضع القالب مثبتاً فى وسط القرص وذلك بالضغط على مقبضية باليد.

٣- يُملأ القالب على طبقتين إرتفاع كل منهما يساوى نصف الإرتفاع تقريبا على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك القياسى ٢٥ مرة موزعة تقريبا بالتساوى على سطح المقطع المستعرض للقالب بشرط أن يَنفُذ القضيب إلى الطبقة التى تليها (يراعى أن يكون نصف عدد ضربات الدمك فى إتجاه مائل إلى الخارج والنصف الثانى فى إتجاه رأسى).

٤- بعد الانتهاء من دمك الخرسانة للطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب بالمسطرين مع مراعاة ملء القالب تماما.

٥- تُزال الخرسانة الزائدة التىسقطت على قرص الإختبار عند تسوية السطح ثم ينظف جيداً حول قالب الإختبار.

٦- يُرفع القالب المعدنى بعد ملئه مباشرة من الخرسانة بإنتظام فى إتجاه رأسى.

٧- يُرفع القرص ويخفض بمعدل منتظم لمسافة ١٢,٥ مم (٢/١ بوصة) وذلك ١٥ مرة فى مدى حوالى ١٥ ثانية.

٨- تقاس قاعدة الخرسانة المنسابة نتيجة الرفع والخفض المذكورة ويكون القياس لقطر القاعدة فى ٦ إتجاهات مختلفة ثم يؤخذ متوسط هذه القراءات ليمثل قطر الإنسياب لقاعدة المخروط الخرسانى بعد إنسياب الخرسانة.

٩- تحسب النسبة المئوية لإنسياب الخرسانة (لأقرب ٥ مم) بإعتبارها النسبة المئوية لزيادة قطر الإنسياب عن قطر القاعدة الأصلى كمايلى:

$$\text{النسبة المئوية للانسياب} = \frac{\text{قطر الإنسياب (سم)} - ٢٥}{٢٥} \times ١٠٠$$

(حيث أن قطر القاعدة الأصلى للمخروط الخرسانى يساوى ٢٥ سم)

ويعتبر اختيار الإنسياب اختبارا معملياً فى معظم الحالات نظراً لعدم سهولة تواجد الجهاز فى موقع العمل. ويمثل الجدول الآتى النسب المئوية للإنسياب عند درجات القوام المختلفة.

جدول (٧-٣) العلاقة بين قوام الخلطة والإنسياب.

النسبة المئوية للانسياب	صفر-٢٠%	١٥-٦٠%	٥٠-١٠٠%	٩٠-١٢٠%	١١٠-١٥٠%
قوام الخلطة الخرسانية Consistency	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

ثالثاً: إختبار كرة الإختراق (كيلى) Ball Penetration Test

وهذه الطريقة يحدد بها قوام الخرسانة بيسر ودقة كافيين وهو إختبار مشابه للهابط إلا أنه أسهل منه وأسرع منه. و يتكون الجهاز أساساً من ثقل على شكل نصف كرة نصف قطرها ١٥ سم ووزنها ١٣,٦ كج يتصل بها يد عليها مقياس مدرج والكل ينزلق من فتحة داخل إطار كما فى شكل (٧-٩) ويمكن وضع هذا الإطار على سطح الخرسانة المراد قياس قوامها كما أن هذا الإطار يصلح فىنفس الوقت لإستخدامه كمستوى ثابت للمقارنة وقت الإختبار ويلاحظ أن جميع أجزاء الجهاز تصنع من الصلب أو أى معدن مشابه.

طريقة إجراء الإختبار:

يمكن وضع الخرسانة فى وعاء أو يمكن إجراء الإختبار والخرسانة فى مكانها داخل الفرم بعد صبها مباشرة ، وفى الحالتين يجب ألا يقل سمك الخرسانة عن ١٥ سم وأن يكون لها سطحاً مستوياً بأقل بعد يساوى ٣٠ سم. ويجب جعل سطح الخرسانة مستوياً وناعماً.

يوضع الجهاز بعناية فوق سطح الخرسانة مع رفع اليد إلى أعلى وجعل الإطار يرتكز برفق فوق السطح ثم تترك اليد لتنزلق داخل الإطار. تُقرأ مسافة إختراق الثقل داخل الخرسانة مباشرة على اليد المدرجة لأقرب ٥ مم. يؤخذ متوسط عدة قراءات فى أماكن متفرقة. وتفيد هذه الطريقة فى بيان ومقارنة قوام الخرسانة عند صبها مباشرة داخل الفرم.



شكل (٧-٩) جهاز كرة كيلى لقياس القوام.

٢- القابلية للتشغيل Workability

تعريف:

القابلية للتشغيل هى خاصية الخرسانة الطازجة التى تبين السهولة التى يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للإنفصال الحبيبى.

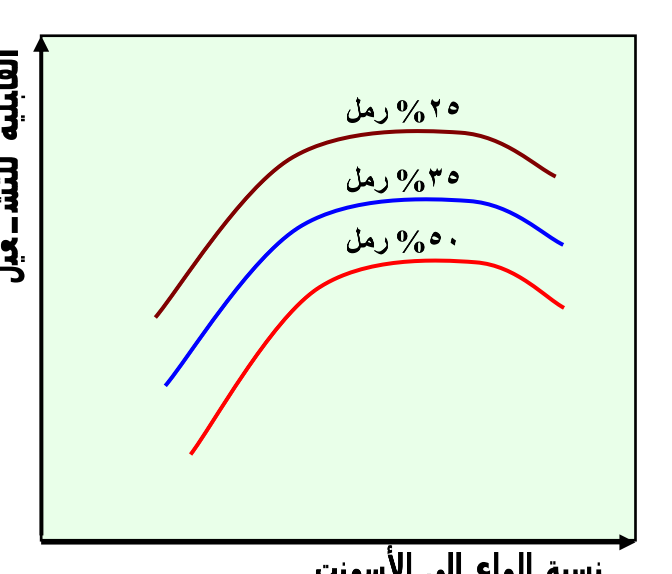
العوامل التى تؤثر على القابلية للتشغيل للخرسانة:

١- *الركام:*

- ❒ مقاس الركام: زيادة نسبة الرمل تزيد من الإحتكاك وبالتالى تزيد صلابة الخلطة (شكل ٧-١٠).
- ❒ شكل حبيبات الركام: الحبيبات المدورة أكثر قابلية للتشغيل بينما الحبيبات الزاوية والمفلطحة والغير منتظمة صعبة التشغيل.
- ❒ حالة السطح: تقل درجة التشغيل بسبب خشونة السطح مثل حالة الأحجار المكسرة.
- ❒ المسامية: تقلل زيادة المسامية من حركة الحبيبات وتزيد من الإحتكاك الداخلى بينها وتقل التشغيلية .
- ❒ المقاس الإعتبارى الأكبر: إزدياد حجم الحبيبات يقلل من القابلية للتشغيل وممكن ذلك يكون معتمداً على كيفية صب الخرسانة وطبيعة المنشأ. (أفضل مقاس للخرسانات المسلحة هو ١٥ إلى ٣٠ مم و فى حالة خرسانة الطرق ٥٠ الى ٧٠ مم).

٢- *الأسمنت:*

- ❒ نوعه: حيث تؤثر طرق صناعة الأسمنت على التشغيلية نتيجة تغير درجة التشحيم فى كل نوع.
- ❒ نعومته: زيادة نعومة الأسمنت يزيد من درجة تشغيل الخرسانة ولكن تكاليف طحن وتنعيم الأسمنت مكلفة جداً بحيث لا توازى المكسب فى زيادة درجة التشغيل.
- ❒ خواص العجينة: نسبة الركام إلى الأسمنت حيث تؤثر هذه النسبة على القابلية للتشغيل بدرجات متفاوته تعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل المساحة السطحية ونصف قطر الركام والحجم.



شكل (٧-١٠) تأثير نسبة الركام الصغير فى الركام الشامل على القابلية للتشغيل.

٣- *الماء:*

فى الخلطات الفقيرة بالأسمنت فإن زيادة الماء لا يؤثر تأثيراً كبيراً على القابلية للتشغيل أما فى الخلطات الغنية فإن زيادة الماء لها تأثير كبير وحساس على القابلية للتشغيل.

٤- *نسبة الماء/ الأسمنت:*

صغر نسبة م/س تعطى خرسانة جافة وزيادة هذه النسبة لدرجة معينة ينتج عنها خرسانة لها درجة تشغيل أفضل ولكن الزيادة الكبيرة فى نسبة الماء ينتج عنها خرسانة ذات تشغيلية رديئة نظراً لسيولتها كما بشكل (٧-١١).

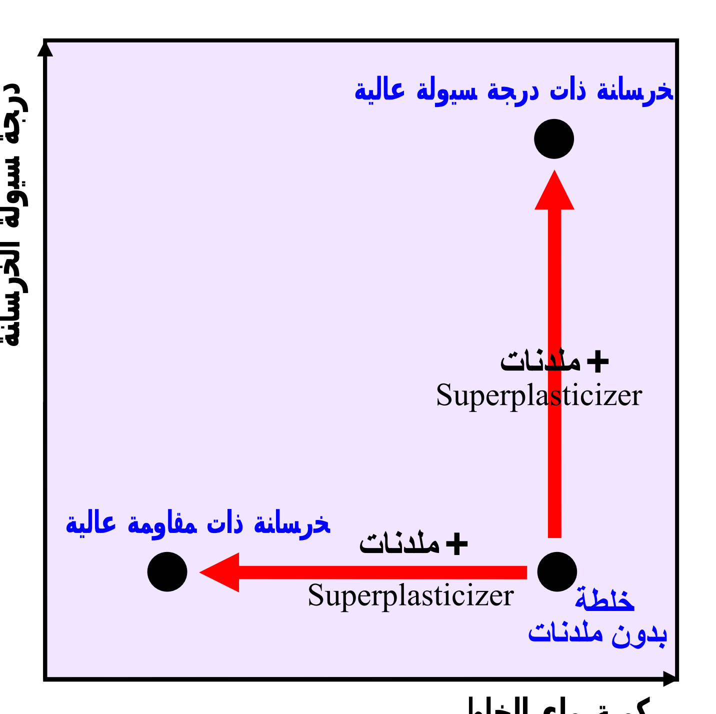
٥- *الإضافات:*

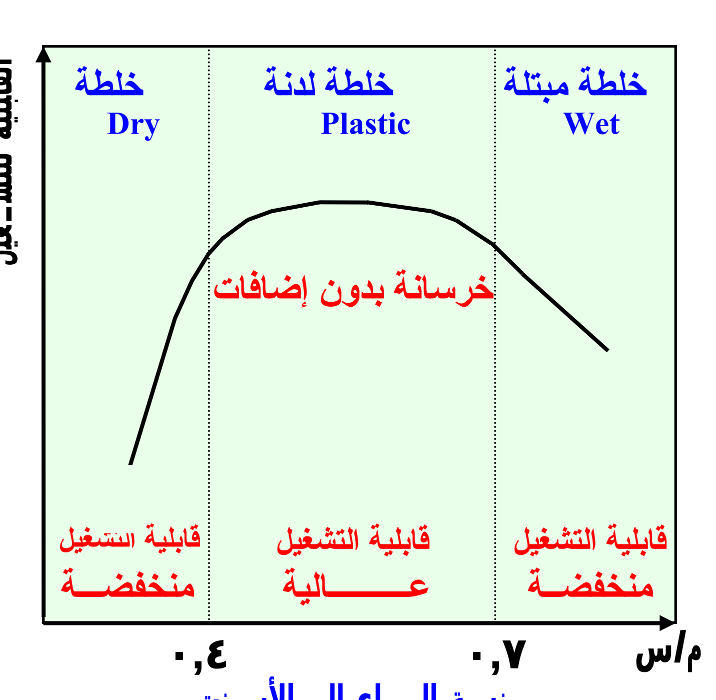
تعمل الإضافات على تحسين درجة التشغيل للخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات هى:

- **الملدنات Superplasticizers وهى مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسب ١: ٣% من وزن الأسمنت.**
- **مواد مسحوقة ناعما وتعمل على تشحيم الخلطة مثل بودرة الحجر الجيرى.**
- **مواد جيلاتينية تضاف إلى الخلطة.**

٦- *الهواء المحبوس:*

يعمل الهواء المحبوس فى الخرسانة على تحسين القابلية للتشغيل وذلك إذا كانت نسبتة تتراوح من ٣% إلى ٧%.





شكل (٧–١١) تأثير الإضافات ونسبة الماء فى الخلطة على القابلية للتشغيل.

❑ طرق تعيين القابلية للتشغيل:

يوجد عدة طرق لتعيين قابلية الخرسانة للتشغيل ومن أهم هذه الطرق:

* اختبار عامل الدمك — Compacting Factor Test
* طريقة فى بى — Vebe (VB) Test

أولاً: إختبار عامل الدمك Compacting Factor Test

يجرى هذا الإختبار لتحديد درجة قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة وهذا الإختبار مبنى عل أساس أن الجهد اللازم لدمك الخرسانة يعبر عن مدى القابلية للتشغيل. ويبين الشكل الموضح الجهاز المستخدم فى هذا الإختبار.

طريقة إجراء الإختبار:

- توضع الخلطة الخرسانية فى المخروط العلوى بواسطة الجاروف ويسوى سطحها مع حافة المخروط.
- يفتح الباب الموجود فىأسفل المخروط العلوى بحيث يسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها فقط إلى المخروط السفلى.
- تكرر نفس الخطوات بالنسبة للمخروط السفلى فتمر الخرسانة إلى الإسطوانة.
- بعد الإنتهاء من ملء الإسطوانة يسوى سطحها وتنظف جوانبها وحوافها الخارجية ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكه جزئياً = و.
- يعاد ملء الإسطوانة من نفس الخلطة الخرسانية على طبقات على أن تدمك كل طبقة يدوياً أوميكانيكياً حتى تملأ تماما بالخرسانة ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكة كلياً = ك.

$$\text{عامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكة جزئياً (نتيجة هبوطها)}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً (نتيجة دمكها)}} = \frac{\text{و}}{\text{ك}}$$

وبمعرفة عامل الدمك يمكن تحديد درجة القابلية للتشغيل كما فى جدول (٧-٤). ويعتبر إختبار عامل الدمك إختباراً معملياً وغيرمناسب لموقع العمل إلا فى المنشآت الكبيرة. وتستخدم هذه الطريقة لقياس قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية بإستثناء الخلطات منخفضة القابلية للتشغيل والخلطات الخشنة لتعذر الحصول على نتائج دقيقة لهذه الخلطات.



شكل (٧–١٢) جهاز عامل الدمك.

جدول (٧–٤) القابلية للتشغيل معبراً عنها بعامل الدمك.

درجة التشغيلية	عامل الدمك	الهبوط (سم)	الإستعمال المناسب للخرسانة.
منخفضة جدا	٠,٧٨	صفر-٢,٥	الطرق المستخدم فيها الهز بالماكينات العادية أو اليدوية
منخفضة	٠,٨٥	٢,٥-٥	الطرق المستخدم فيها الهز بالماكينات اليدوية أو الهز اليدوى إذا كان الركام مستديرا أو زاويا. الخرسانة الكتلية فى الأساسات بدون اهتزازات أو الخرسانة المسلحة التى يها تسليح خفيف بواسطة الدمك بالهز.
متوسطة	٠,٩٢	٥-١٠	الأسقف المدموكة باليد أو الخرسانة المسلحة ذات التسليح الثقيل والمدموكة باليد أو بالإهتزازات.
عالية	٠,٩٥	١٠-١٧,٥	للقطاعات ذات التسليح الشديد جداً غير المناسب للهز .

ثانياً : طريقة فى بى Vebe (VB) Test

وهذا الاختبار تعديل لاختبار إعادة التشكيل بحيث ألغيت الإسطوانة الداخلية به وتم الدمك بالهز بدلاً من الرج والشكل (٧-١٤) يوضح رسماً لهذا الجهاز. ويفترض أن إعادة التشكل قد إكتملت عندما يغطى اللوح الزجاجى الخرسانة تماما وعندما تتلاشى كل الفراغات فى الخرسانة ويحدد هذا بالنظر الذى يعتبر أحد عيوب إجراء الإختبار. ويتم الدمك بواسطة منضدة إهتزاز بها حمل غير متمركز ويدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة فى الدقيقة وبعجلة قدرها ٣ج إلى ٤ج حيث ج هى عجلة الجاذبية الأرضية. وبفرض أن كمية الطاقة اللازمة لتمام الدمك تمثل درجة التشغيلية للخليط معبراً عنها بالزمن اللازم بالثانية لإعادة التشكل الكامل. وفىبعض الأحيان يعمل تصحيح قدره V1 /V2حيث V2 هو حجم الخرسانة بعد الإهتزاز و V1 هو حجمها قبل الإهتزاز. وهذا الجهاز أميز من جهاز عامل الدمك حيث قد تلتصق بعض الخرسانة الجافة فى القواديس وهو مناسب جداً فى حالة إختبار الخرسانة الجافة أو الخرسانة التى بها ألياف. و قد يستخدم أيضا للتعبير عن القوام.



شكل (٧-١٤) جهاز فى بى.

٣- الانفصال الحبيبي Segregation

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات أي خليط غير متجانس (مثل الخرسانة) بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم. ويوجد نوعان من الإنفصال الحبيبى للخرسانة:

١- إنفصال الحبيبات الكبيرة من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسباً. وذلك يكون فى الخلطات الجافة جداً وخاصة الفقيرة فى الأسمنت.

٢- إنفصال الأسمنت اللبانى ويحدث ذلك فى الخلطات المبتلة جداً.

❑ أسباب حدوث الانفصال الحبيبي:

١- الخلط: عند زيادة زمن الخلط عن الزمن اللازم والمناسب فقد يحدث إنفصال نتيجة قوة الطرد المركزية لحلة الخلاط والذى ينتج عنه أن الركام الصغير يلتصق بالجدار والكبير يهبط الى أسفل. ولتلافى ذلك يجب عدم زيادة زمن الخلط عن الزمن المحدد لذلك. كذلك يجب عند تفريغ الخلاط أن لا تزيد مسافة التفريغ عن ١,٠ متر.

٢- النقل: عند نقل الخرسانة إلى موضع الصب يمكن حدوث إنفصال نتيجة الرج و التأرجح لعربات النقل وخاصة فى الخلطات المبتلة.

٣- الصب: يجب مراعاة عدم الصب من إرتفاعات عالية.

٤- الدمك: الدمك الزائد قد يسبب إنفصالاً حبيبياً.

❑ لملافاة الانفصال الحبيبى:

١- ينبغى العناية بتصميم الخلطة الخرسانية وضبط مكوناتها عن طريق زيادة المواد الناعمة مثل الأسمنت والركام الصغير وكذلك تقليل نسبة م/س مما يؤدى إلى تماسك أكبر للخلطة الخرسانية.

٢- استخدام إضافات تقليل ماء الخلط Superplasticizers.

٣- مراعاة عمليات الصناعة من خلط و نقل و صب كما سبق شرحه.

٤- استخدام إضافات تحسين اللزوجة Viscosity Enhancing Admixtures.

٤- النضح Bleeding

النضح هو تكون طبقة من الماء على سطح الخرسانة المصبوبة حديثا بعد دمكها و تسويتها.

❑ أسباب حدوث النضح :

كثرة الدمك الذى يؤدى إلى هبوط المكونات الثقيلة (الركام) إلى أسفل وصعود العجينة الأسمنتية إلى أعلا وكذلك زيادة ماء الخلط. وأضرار النضح تتلخص فى الآتى:

١- إحتواء الطبقة العليا على نسبة عالية من الماء مما يسبب وجود فراغات فى تلك الطبقة نتيجة تبخر الماء وبالتالى ضعف مقاومة الخرسانة.

٢- عند صعود الماء إلى أعلا قد يحمل معه جزيئات ناعمة من الأسمنت تكون طبقة هشة على السطح بعد تبخر الماء وجفافه ولذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الإستمرار فى الصب.

٣- تراكم طبقة رقيقة من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدى إلى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة و حديد التسليح.

❑ لملافاة ظاهرة النضح :

يجب إستعمال كمية ماء خلط مناسبة وعدم إستعمال خلطات مبتلة جداً أو بها نسبة قليلة من المواد الناعمة مثل الأسمنت والرمل. كما إن إستخدام نسبة من الملدنات فى الخلطة يؤدى إلى تحسين خواص الخرسانة ويعمل على تقليل ماء الخلط وتلاشى ظاهرة النضح.

****

الباب الثامن

خواص و اختبارات الخرسانة المتصلدة

Properties and Testing of Hardened Concrete

٨-١ مقاومة الضغط Compressive Strength

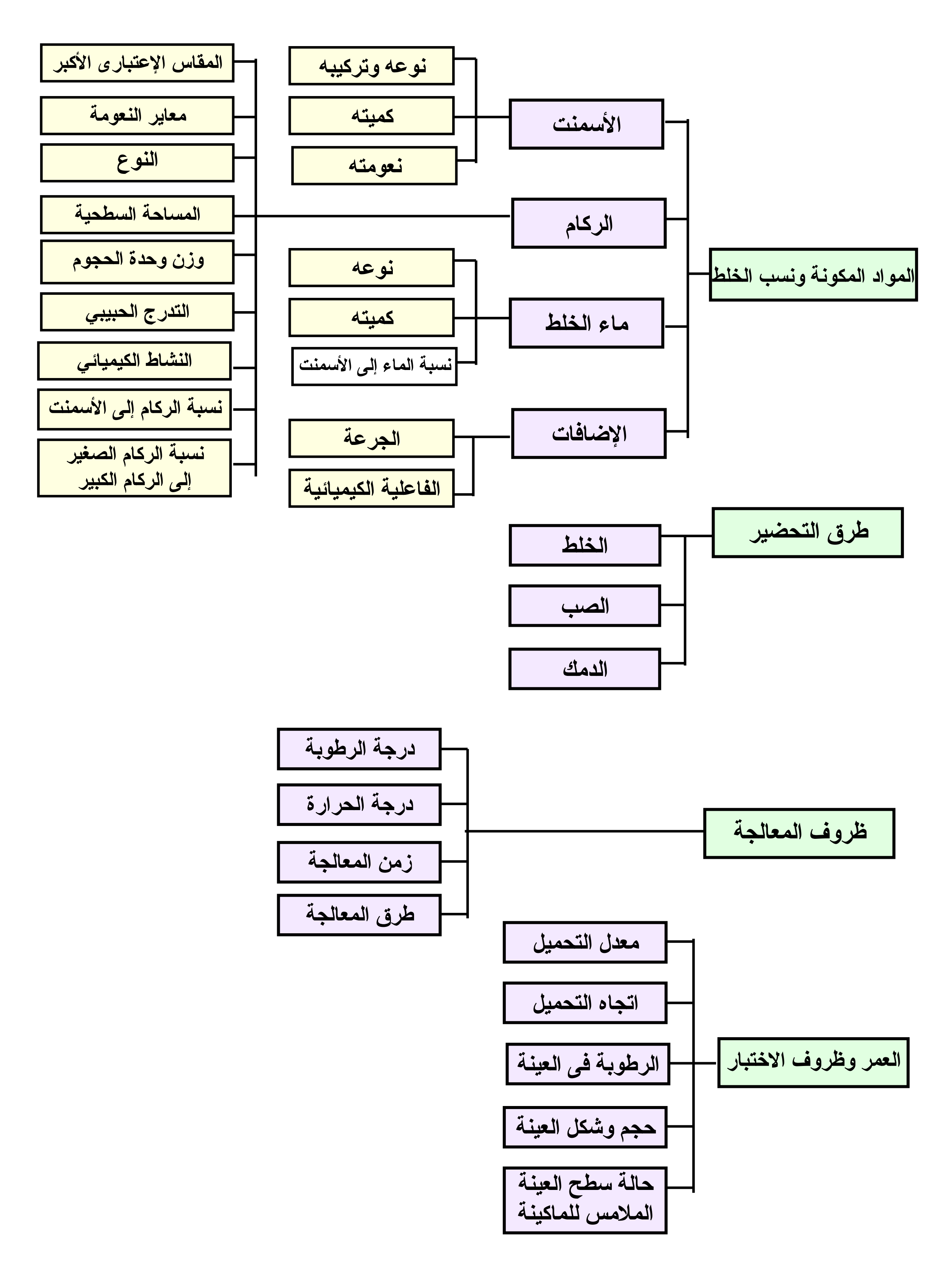
إن مقاومة الضغط هى أهم خواص الخرسانة المتصلدة على الإطلاق وهى تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ، ومقاومة الضغط هى المقاومة الأم للخرسانة حيث أن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد و الانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح. لذلك يجرى اختبار الضغط بغرض التحكم فى جودة إنتاج الخرسانة فى موقع المشروع كما يستخدم هذا الاختبار فى أغراض التصميم الإنشائى لتحديد المقاومة المميزة Characteristic Strength وإجهاد التشغيل Working Stress للخرسانة فى الضغط الذى يؤخذ كنسبة من المقاومة القصوى للضغط. كما يفيد اختبار الضغط فى تحديد صلاحية الركام وماء الخلط للتعرف على تأثير الشوائب التى قد توجد بهما على مقاومة الضغط للخرسانة. والواقع حالياً أن مقاومة الضغط لخرسانة المنشآت التقليدية تتراوح بين ٢٥٠ - ٣٥٠ كج/سم٢ أما بالنسبة للمنشآت الخاصة والوحدات سابقة التجهيز فمقاومة الضغط تزيد عن ذلك وتصل إلى ٤٠٠ - ٥٠٠ كج/سم٢ والوحدات الخرسانية سابقة الإجهاد يجب أن تكون ذات مقاومة للضغط تزيد عن ٤٠٠ كج/سم٢ وقد تصل إلى ٦٠٠ كج/سم٢. وقد سبق الإشارة فى الأبواب السابقة عن إمكانية صناعة الخرسانة عالية المقاومة (مقاومة الضغط أكبر من ٨٠٠ كج/سم٢) والتى نأمل أن تأخذ طريقها إلى الواقع العملي فى مصر فى المستقبل القريب.

٨-١-١ العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط

تتأثر مقاومة الضغط بعوامل عديدة ومتنوعة يلخصها الرسم البياني شكل (٨-١) فى أربعة مجموعات رئيسية هى:

- المواد المكونة ونسب الخلط.
- طرق صناعة الخرسانة من خلط ونقل وصب ودمك.
- ظروف المعالجة.
- العمر وظروف الاختبار.

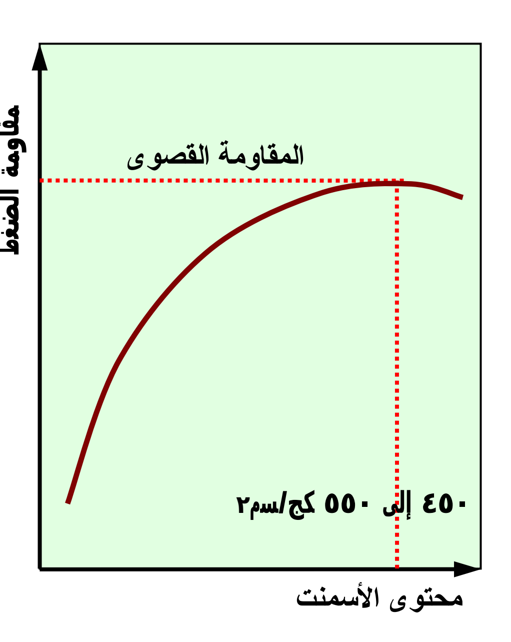
وفيما يلي شرح بإيجاز لبعض هذه العوامل.



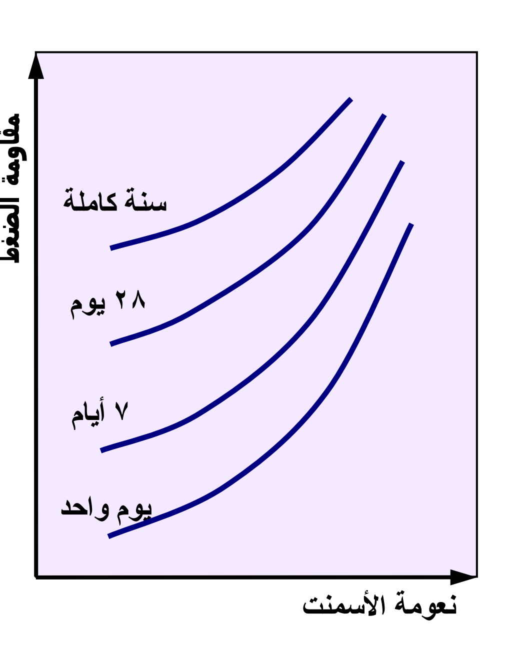
شكل (٨-١) العـوامل التى تـؤثـر على المقاومة.

أولاً: تأثيـــر الأســـمنت

الأسمنت هو المكون الرئيسي الفعال الذى تتوقف عليه مقاومة الخرسانة وأهم العوامل المؤثرة فى الأسمنت هى كميته ونعومته وتركيبه الكيميائي. فنجد أن مقاومة الخرسانة تزيد بزيادة محتوى الأسمنت وذلك حتى محتوى معين يقل عنده معدل الزيادة فى المقاومة ثم تتوقف الزيادة فى المقاومة بعد ذلك وربما تقل. وهذا المحتوى يختلف باختلاف نسب مكونات الخلطة وكذلك يتوقف على وجود أو عدم وجود إضافات كيميائية أو معدنية. وعموماً فقد وجد أن المحتوى الأقصى للأسمنت الذى يعطى أعلى مقاومة ضغط للخرسانة يقع بين ٤٥٠ و ٥٥٠ كج/م٣ (شكل ٨-٢). أما بالنسبة لنعومة الأسمنت فهي تؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الخرسانة وخاصة فى الأعمار المبكرة حتى ٢٨ يوم. بعد ذلك يقل معدل الزيادة فى المقاومة تدريجياً بتقدم عمر الخرسانة حتى يكاد ينعدم عند الأعمار المتأخرة جداً كما هو موضح بشكل (٨-٣).

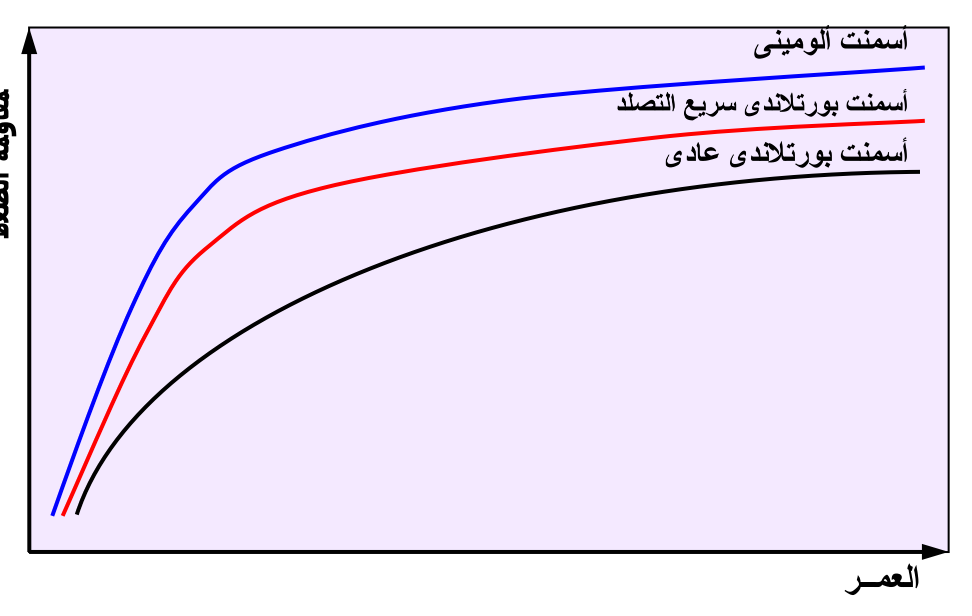


شكل (٨-٢) تأثير محتوى الأسمنت.




شكل (٨-٣) تأثير نعومة الأسمنت.

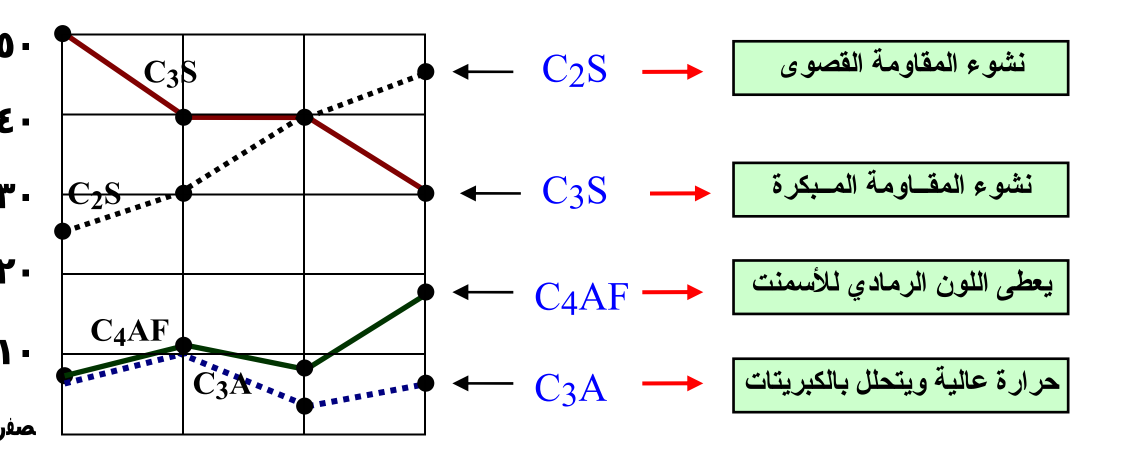
أما بالنسبة لتأثير التركيب الكيميائي للأسمنت فيعتمد ذلك بصورة كبيرة على نسب المكونات الرئيسية الأربعة للأسمنت وهى سيليكات ثنائي الكالسيوم C_2S وسيليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S وثالث ألومينات الكالسيوم C_3A ورابع ألومينات حديد الكالسيوم C_4AF. أما العنصرين الأولين C_2S و C_3S فهما الذين يتحكمان فى المقاومة ويتراوح مجموع نسبتيهما حوالى ٧٥% . وعموماً فإن الأسمنت الذى يحتوى على نسبة عالية من C_3S يكتسب مقاومة أسرع من الأسمنت المحتوى على نسبة عالية من C_2S حيث أن C_3S هو المركب المسئول عن المقاومة المبكرة للأسمنت. أما العنصر الثالث فى الأسمنت و هو ثالث ألومينات الكالسيوم فهو المسئول عن انبعاث حرارة عالية أثناء الخلط وهو المتسبب فى وجود الخواص غير المرغوبة فى الأسمنت مثل حدوث التغيرات الحجمية و التشققات و التدهور عند التعرض للكبريتات. إلا أن هذا العنصر موجود فى الأسمنت بحكم تواجده فى المواد الخام. أما العنصر الرابع وهو رابع ألومينات حديد الكالسيوم فهو عنصر خامل تقريباً ويحل محل العناصر النشطة فى الأسمنت وبالتالي فلا يرغب فى تواجده بنسبة عالية. وبالتحكم فى نسبة المكونات الرئيسية للأسمنت وكذلك نعومته يمكننا صناعة الأنواع المختلفة من الأسمنت مثل الأسمنت سريع التصلد والأسمنت البورتلاندى العادي والأسمنت فائق النعومة والأسمنت المقاوم للكبريتات ...... إلخ. والشكل رقم (٨-٤) يوضح تأثير نوع الأسمنت حيث نجد أن الأسمنت السريع التصلد يظهر مقاومة مبكرة عالية ولكن بعد ثلاثة شهور تقريباً تكون المقاومة مساوية لتلك التى نحصل عليها من الأسمنت البورتلاندى العادي. جدول (٨-١) وشكل (٨-٥) يوضحان المكونات الكيميائية لأنواع الأسمنت المختلفة وكذلك تأثيرها على خواص الأسمنت.



شكل (٨-٤) تأثير نوع الأسمنت على مقاومة الضغط.

جدول (٨–١) خواص الأنواع المختلفة للأسمنت.

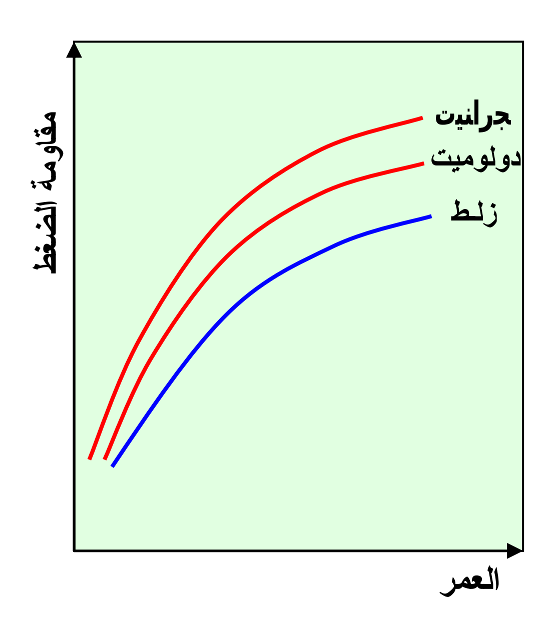
نوع الأسمنت	معدل زيادة المقاومة	الحرارة المنبعثة	الانكماش بالجفاف	مقاومة التشريخ	المقاومة للكيماويات كبريتات	أحماض
بورتلاندى عادى	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منخفض	منخفض
بورتلاندى سريع التصلد	عالي	عالي	متوسط	منخفض	منخفض	منخفض
بورتلاندى منخفض الحرارة	منخفض	منخفض	فوق المتوسط	عالي	متوسط	منخفض
مقاوم للكبريتات	منخفض/متوسط	منخفض/متوسط	متوسط	متوسط	عالي	منخفض
بورتلاندى حديدي	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	فوق المتوسط	فوق المتوسط



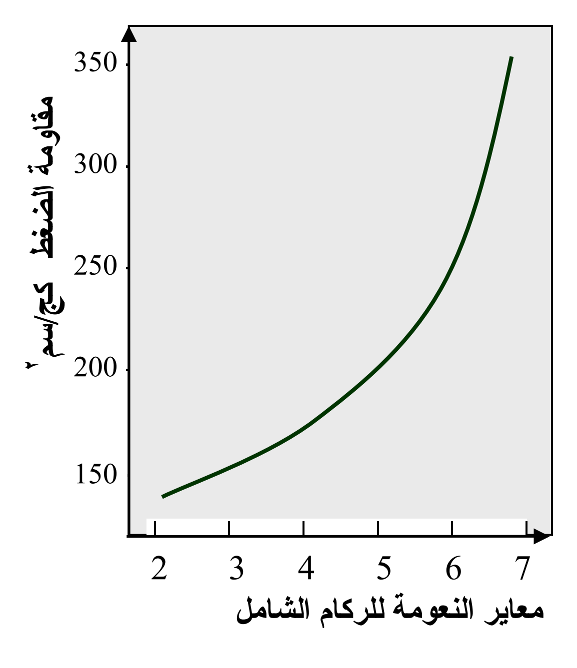
شكل (٨–٥) التركيب الكيميائي للأنواع المختلفة من الأسمنت.

ثانياً: تأثير الركام

الركام هو المادة المالئة بالخرسانة والتى يُفترض أنها خاملة كيميائياً. وعموماً فإن مقاومة الخرسانة تتوقف على التماسك بين العجينة الأسمنتية والركام المستخدم حيث ينبغي أن تغلف العجينة الأسمنتية بكفاءة أسطح الركام المستخدم ومن ثم نجد أن نوع الركام وشكله ونعومته ومساحته السطحية وطبيعة سطحه من العوامل الرئيسية التى تؤثر على مقاومة الخرسانة. شكل (٨-٦) يوضح تأثير نوع الركام على مقاومة الضغط حيث نجد أن الحجر الجيري أو الدولوميت يعطى مقاومة أكبر من الزلط. كذلك يبين شكل (٨-٧) أن مقاومة الضغط تزيد بزيادة قيمة معاير النعومة للركام الشامل. أما المساحة السطحية للركام فتؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الضغط حيث نجد أنه عند مساحة سطحية حوالى ٢٥ سم٢/جم فإننا نحصل على المقاومة القصوى التى تقل تدريجياً إذا زادت المساحة السطحية أو قلت عن ذلك كما هو موضح بشكل (٨-٨). ومساحة الركام السطحية تعتمد على نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير وكذلك على نعومة أو خشونة الركام المستخدم.



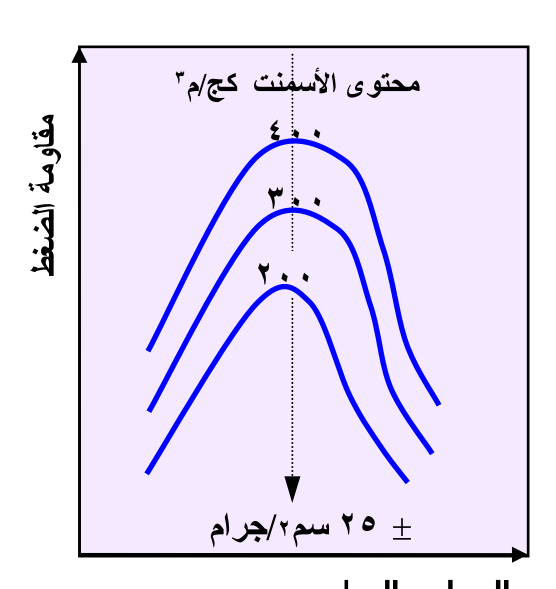
شكل (٨-٦) تأثير نوع الركام.



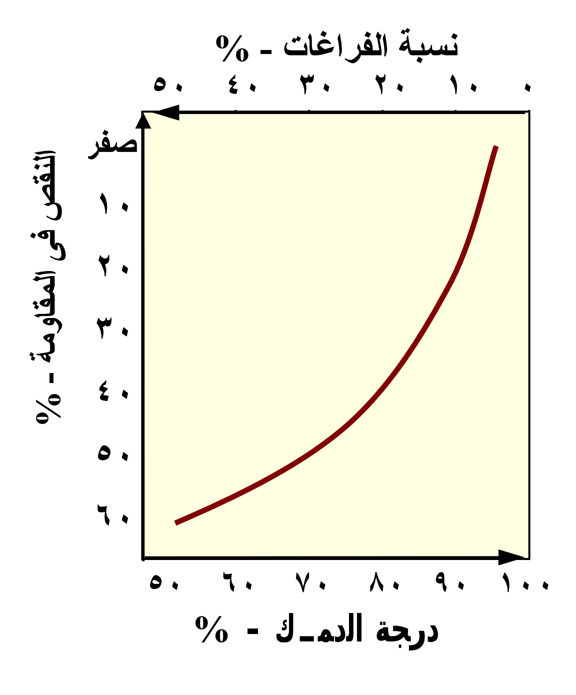
شكل (٨-٧) تأثير معاير نعومة الركام

ثالثاً: تأثير ماء الخلط و الدمك

إن تأثير نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) هو بلا شك من أهم العوامل التى تؤثر ليس فقط على مقاومة Strength الخرسانة بل أيضاً على متانتها Durability. وعموماً فإن تقليل الماء فى الخلطة إلى درجة معينة هو أساس الحصول على الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete أو الخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete. وقد سبق الحديث فى الباب الأول من هذا الكتاب عن تأثير نسبة (م/س) على الخرسانة وكذلك كيفية التحكم فى نسبة الماء فى الخرسانة باستخدام الإضافات الكيميائية (الملدنات). وقد وجد أنه عند درجة دمك محددة للخرسانة الطازجة فإن هناك نسبة معينة من (م/س) تكون عندها مقاومة الخرسانة نهاية عظمى. وعموماً فإن مقاومة الخرسانة تتأثر تأثراً كبيراً بدرجة دمكها كما هو موضح فى شكل (٨-٩) حيث أن الدمك الغير جيد يؤدى إلى وجود فراغات هوائية فى الخرسانة تعمل على تقليل المقاومة وتدهور الخرسانة.



شكل (٨–٨) تأثير المساحة السطحية للركام.



شكل (٨–٩) تأثير الدمك.

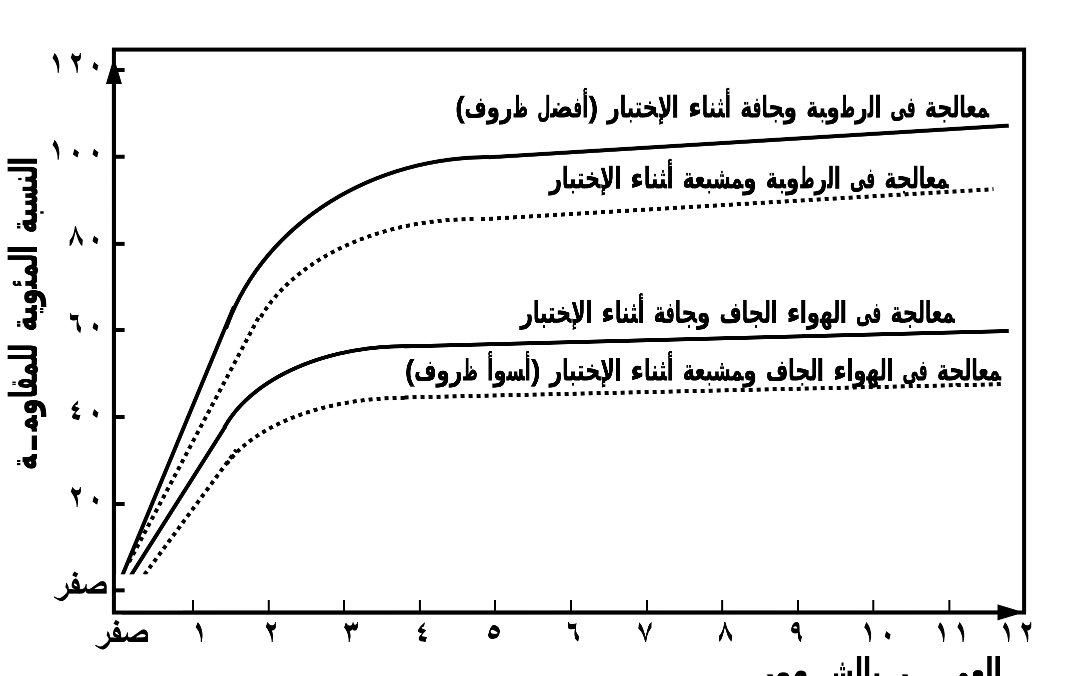
رابعاً: تأثير العمر والمعالجة

إن زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن Strength Gain يتوقف بدرجة كبيرة على الظروف المحيطة بها وكذلك على ظروف المعالجة من حيث مدتها ودرجتي الرطوبة والحرارة. فكلما زادت فترة معالجة الخرسانة فى الرطوبة كلما زادت مقاومتها. كما أن الخرسانة المعالجة فى الهواء تظهر مقاومة أقل كثيراً من الخرسانة المعالجة تحت الماء. إن الخرسانة المعالجة فى الهواء مع تعرضها لدورات الجفاف يقيد عملية الإماهة وربما يوقفها ومن ثَمَ تتوقف الزيادة فى المقاومة. ولقد أوضحت الاختبارات طويلة المدى على الخرسانة المعالجة فى الماء تحت درجة الحرارة العادية أن عملية الإماهة مستمرة حتى أعمار تصل سنوات عديدة ولكن بمعدل متناقص. و يتضح من شكل (٨-١٠) أن الخرسانة المعالجة فى الماء تظهر مقاومة أعلى بمقدار مرتين أو أكثر من مقاومة الخرسانة الغير معالجة. ولقد أوضحت الاختبارات أيضاً أن العينات الخرسانية المعالجة فى الهواء ومختبرة فى جو جاف تُظهر مقاومة أكبر من العينات المناظرة التى عُرضت للهواء نفس المدة ولكنها شُبعت بالرطوبة قبل الاختبار مباشرة. وعموماً فإن المعدل الذى تتحسن به المقاومة Rate of Strength Gain يكون كبيراً فى الأعمار المبكرة خاصة فى الأسابيع الأربعة الأولى ويقل تدريجياً مع تقدم العمر. ولذلك تم اعتبار المقاومة بعد ٢٨ يوم هى المقاومة القياسية للخرسانة.

ولقد أجريت اختبارات عديدة على أنواع مختلفة من الخرسانة لدراسة مقاومة الضغط عند أعمار مختلفة وإيجاد العلاقة بينها. والواقع أن هناك علاقات كثيرة تربط مقاومة الخرسانة فى الأعمار المختلفة بمقاومتها عند ٢٨ يوم إلا أن جميع هذه العلاقات تقريبية وتعطى قيم استرشادية فقط. وفى جميع الأحوال ينبغي اختبار الخرسانة بعد ٢٨ يوم حتى نتأكد تماماً من قيمة مقاومة الخرسانة الفعلية. وتجدر الإشارة أن اختبار الضغط بعد ٢٨ يوم لا يعطى قناعة تامة عن حقيقة مقاومة الضغط لبعض أنواع الخرسانة وخاصة تلك المحتوية على إضافات كيميائية مثل معجلات أو مؤخرات الشك وكذلك تلك المحتوية على مواد بوزولانية مثل غبار السيليكا وفى هذه الحالة ينبغي قياس المقاومة بعد ٥٦ يوم أو ٩٠ يوم على الأقل وذلك حتى تعطى صورة حقيقية عن المقاومة. وعموماً فإن الكود المصري قد أعطى بعض القيم الاسترشادية (جدول ٨-٢) للعلاقة بين مقاومة الضغط فى الأعمار المختلفة ومقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم وذلك فى حالة الخرسانة المصنوعة فى الظروف العادية والغير محتوية على إضافات.

جدول (٨–٢) قيم استرشادية لنسبة مقاومة الضغط فى أعمار مختلفة.

عمر الخرسانة (يوم)	٣	٧	٢٨	٩٠	٣٦٥
أسمنت بورتلاندى عادى	٠,٤	٣/٢	١	١,١٨	١,٣٣
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	٠,٥٥	٦/٥	١	١,١١	١,١٨



شكل (٨–١٠) معدل زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن فى ظروف معالجة مختلفة.

خامساً: تأثير شكل العينات على مقاومة الضغط

هناك ثلاثة أشكال شائعة للعينات الخرسانية التى تستخدم فى اختبار الضغط وهى: المكعبة والاسطوانية و المنشورية كما بشكل (٨-١١) وقد لوحظ معملياً أن المقاومة المقاسة لخلطة معينة من الخرسانة تختلف باختلاف شكل العينات المختبرة. كما دلت التجارب على أنه لنفس الشكل من العينات تختلف المقاومة المقاسة معملياً باختلاف مقاس العينات المختبرة.

ولقد أجريت عدة أبحاث معملية بغرض الوصول إلى شكل ومقاس موحد ومناسب للعينات الممكن استخدامها فى اختبار الضغط إلا أنه لا توجد حتى الآن طريقة نظرية أو رياضية لإعطاء حل جازم لهذه المشكلة وبذلك ظلت المواصفات الدولية مختلفة فيما بينها فى اختيار الشكل والمقاس المناسب لعينات اختبار الضغط فنجد أن المواصفات القياسية البريطانية تنص على استخدام العينات المكعبة مقاس ١٥,٨×١٥,٨×١٥,٨ سم بينما تنص المواصفات القياسية الأمريكية على استخدام العينات الاسطوانية مقاس ١٥×٣٠ سم ومن ناحية أخرى تنص المواصفات القياسية السويسرية على استخدام العينات المنشورية مقاس ١٥×١٥×٣٠ سم فى حين أن بعض دول وسط أوربا تشترط اختبار مجموعة عينات مكعبة بالإضافة إلى عينات منشورية من نفس الخلطة الخرسانية. ونظراً للاختلاف الواضح بين المواصفات القياسية الدولية بشأن شكل ومقاس عينات اختبار الضغط فإن الأبحاث العلمية أولت هذا الموضوع اهتماما كبيراً لمحاولة ربط المقاومة المستنتجة من أحد الأشكال بالمقاومة المستنتجة من الأشكال الأخرى. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه نظراً لتزايد استخدام الخرسانة عالية المقاومة فى وقتنا الحاضر فقد ظهر الميل لاستخدام عينات صغيرة مثل المكعب ١٠×١٠×١٠ سم والاسطوانة ١٠×٢٠ سم وذلك حتى تناسب سعات ماكينات الضغط المتاحة.



شكل (٨-١١) الأشكال المختلفة من العينات الخرسانية المستخدمة فى الضغط.

ولقد بينت الاختبارات أن العلاقة بين مقاومة الضغط للمكعب ومقاومة الضغط للاسطوانة غير ثابتة لأنها تتغير نتيجة اختلاف مقاومة الخرسانة ومقاس الركام الكبير وعوامل أخرى. ويعتبر تولد قوى الاحتكاك بين سطحي عينة الاختبار ورأس ماكينة الضغط من العوامل المؤثرة على تغير العلاقة بين مقاومة الضغط للعينة المكعبة و الاسطوانية و المنشورية حيث تؤثر قوى الاحتكاك على المقاومة الظاهرية للعينات المكعبة. بينما يحدث الانهيار فى العينات الاسطوانية و المنشورية دون تأثير واضح لقوى الاحتكاك وبالتالي نجد دائماً أن مقاومة الضغط للعينة المكعبة أكبر من مقاومة الضغط للعينة الاسطوانية أو المنشورية. وسوف تتضح طبيعة تأثير هذا الاحتكاك على نتائج اختبارات الضغط فيما بعد. وتمتاز العينات الاسطوانية الشكل بأن توزيع الإجهادات على سطحها يكون منتظماً وبذلك تعطى إنعكاساً واضحاً لخواص الخرسانة. وإذا أخذنا المكعب القياسي (١٥×١٥×١٥) كأساس للمقارنة فإن الاختلاف فى نتائج اختبار العينات المكعبة و الاسطوانية و المنشورية يكون كما هو موضح بالجدول (٨-٣). غير أن النسبة الموضحة للمقاومة فى الجدول (٨-٣) تختلف باختلاف عمر الخرسانة عند اختبارها كما تختلف أيضا باختلاف مقاومة الخلطة المختبرة وكذلك تتوقف على طبيعة المواد المكونة للخرسانة فنجد مثلاً أن نسبة مقاومة المنشور إلى مقاومة المكعب تزيد كلما كانت الخرسانة المختبرة بها نسبة أكبر من الرمل والمواد الناعمة.

جدول (٨-٣) قيم استرشادية لمعامل التصحيح لنتائج مقاومة الضغط طبقاً للكود المصري ٢٠٠١.

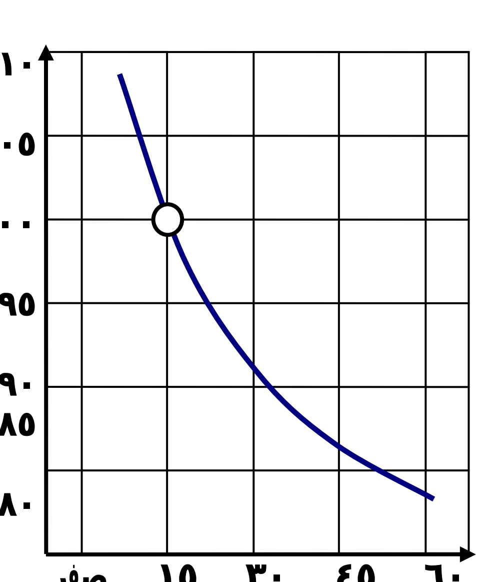
شكل القالب	الأبعاد (سم)	معامل التصحيح
مكعب	١٠×١٠×١٠	٠,٩٧
مكعب	١٥×١٥×١٥ أو ١٥,٨×١٥,٨×١٥,٨	١,٠٠
مكعب	٢٠×٢٠×٢٠	١,٠٥
مكعب	٣٠×٣٠×٣٠	١,١٢
اسطوانة	٢٠×١٠	١,٢٠
اسطوانة	٣٠×١٥	١,٢٥
اسطوانة	٥٠×٢٥	١,٣٠
منشور	٣٠×١٥×١٥ أو ٣١,٦×١٥,٨×١٥,٨	١,٢٥
منشور	٤٥×١٥×١٥ أو ٤٧,٤×١٥,٨×١٥,٨	١,٣٠
منشور	٦٠×١٥×١٥	١,٣٢

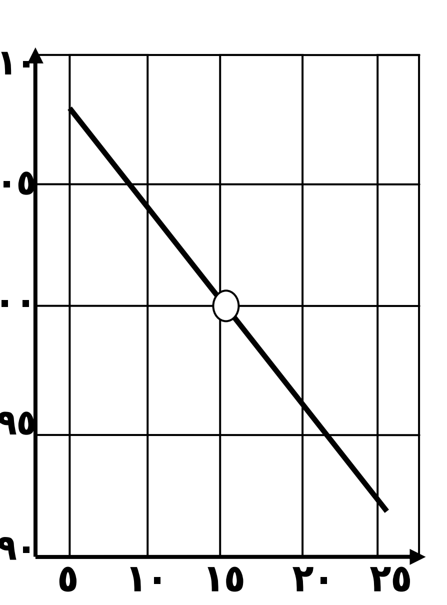
سادساً: تأثير المقاس على مقاومة العينات

وجد أن مقاومة الخرسانة للضغط تختلف بالنسبة للعينات المتشابهة فى الشكل والمختلفة فى الأبعاد ، فكلما زادت الأبعاد تقل مقاومة الضغط المقاسة معملياً كما بشكل (٨-١٢). ولقد أدت هذه الظاهرة بالباحثين إلى محاولة عمل توحيد قياسي على أبعاد عينات اختبار الضغط سواء كانت مكعبة أو اسطوانية أو منشورية الشكل. وبالنسبة للعينات الاسطوانية الشكل نجد أن المقاومة المقاسة تتغير تبعاً لتغير مقاس الاسطوانة كما أنها تتغير أيضا تبعاً لاختلاف نسبة ارتفاع الاسطوانة إلى قطرها (ع/ق) ، ويوضح جدول (٨-٤) عامل التصحيح لمقاومة الضغط الذى يضرب فى المقاومة التى يحصل عليها من العينات الاسطوانية غير القياسية وذلك بغرض حساب المقاومة المطلوب الحصول عليها من العينات القياسية المأخوذة من نفس الخلطة والتى يعادل ارتفاعها ضعف قطرها. و يتضح من جدول (٨-٤) أن المقاومة التى نحصل عليها من العينات التى لها (ع/ق) أقل من ٢ تكون أكبر من المقاومة القياسية مما يستدعى ضربها بعامل تصحيح يقل بقيمته عن الواحد الصحيح تبعاً لنسبة (ع/ق).

جدول (٨-٤) عامل تصحيح المقاومة المناظر لنسب (ع/ق) المختلفة للاسطوانة (ASTM C 457)

نسبة الارتفاع إلى القطر (ع/ق)	٢,٠	١,٧٥	١,٥٠	١,٢٥	١,١٠	١,٠٠	٠,٧٥	٠,٥٠
عامل تصحيح المقاومة	١,٠	٠,٩٨	٠,٩٦	٠,٩٤	٠,٩٠	٠,٨٥	٠,٧٠	٠,٣٠

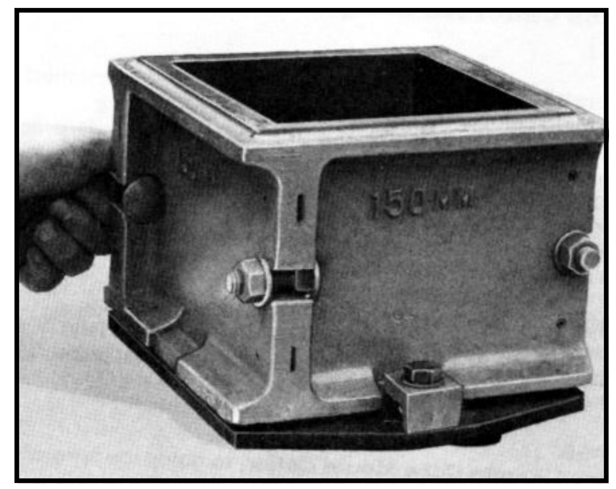




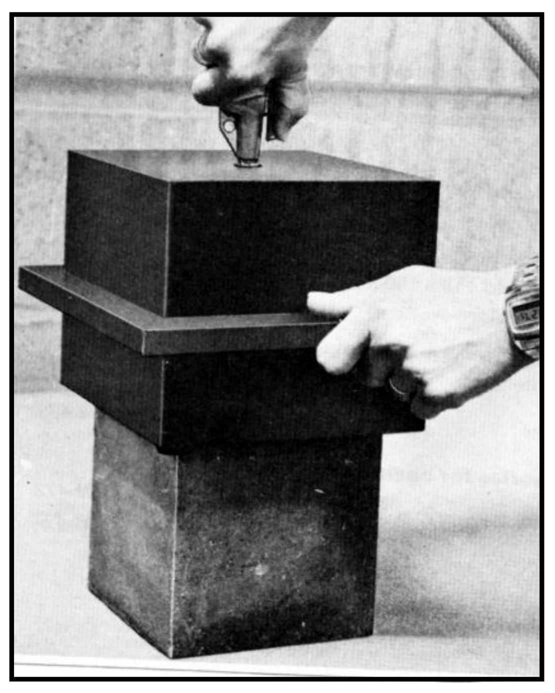
شكل (٨-١٢) تأثر مقاومة الخرسانة بتغير مقاس العينة.

سابعاً: نـوع قالب الصـب

هناك عدة أنواع من القوالب يمكن إستخدامها لصب عينات إختبار الضغط سواء للعينات المكعبة أو الإسطوانية أو المنشورية الشكل. إلا أن أكثر هذه الأنواع شيوعاً هى القوالب المعدنية ثم تأتىقوالب البلاستيك والكرتون وقوالب ورق الشمع البرافينى. ويؤثر نوع مادة القالب المستخدم على مقاومة الضغط المقاسة معملياً تبعاً لقابلية القالب لإمتصاص الماء وقابليته لتسريب الماء الأسمنتى من خلال الجدران أو إحتمال حدوث تغير فى شكل القالب Deformation خلال زمن تصلد الخرسانة. ومع أن القوالب المعدنية تُعتبر أفضل الأنواع لتجهيز عينات الإختبار إلا أن النوعين الآخرين يمتازان بقلة التكاليف وسهولة الإستعمال فى موقع العمل. وتُظهر العينات المصبوبة فى قوالب من البلاستيك مقاومة أقل من تلك التى تُظهرها مثيلاتها المصبوبة فى القوالب المعدنية. وجدير بالذكر أن المواصفات القياسية تنص على إستخدام القوالب المعدنية لتجهيز عينات إختبار الضغط إلا أنه قد يلزم فى بعض الظروف إستخدام أنواع أخرى من القوالب وفى هذه الحالة تصحح المقاومة المقاسة بضربها بعامل التصحيح المناسب. شكل (٨-١٣) يبين شكل القالب المكعب المعدنى أثناء تربيط جوانبه بينما يبين شكل (٨-١٤) القالب المناظر من البلاستيك أثناء تفريغ العينة الخرسانية منه بضغط الهواء.



شكل (٨–١٣) قالب مكعب معدنى.



شكل (٨–١٤) قالب مكعب بلاستيك.

ثامناً: ظـروف التحميل

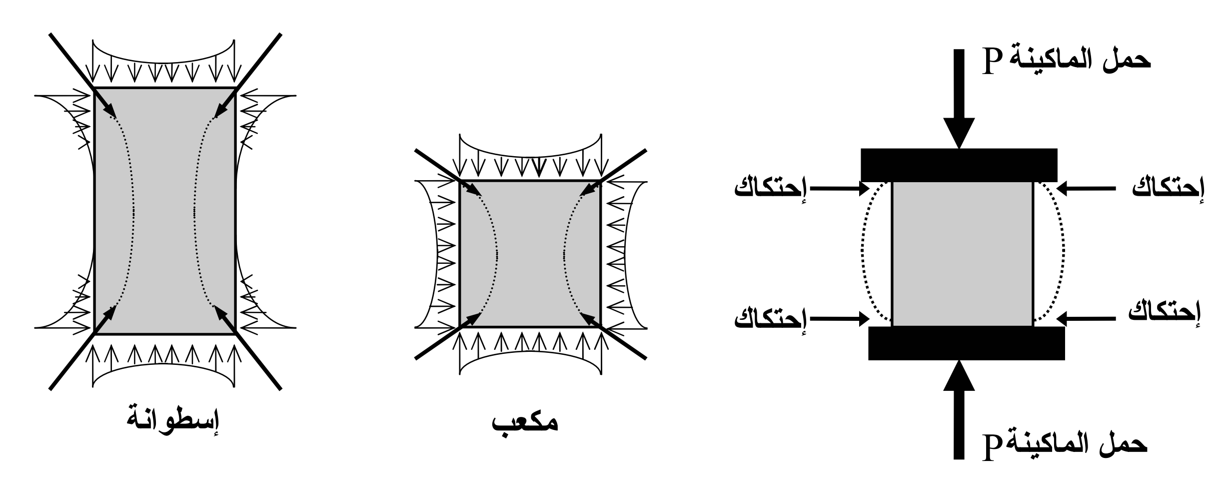
تتأثر المقاومة المقاسة لعينات اختبار الضغط بظروف التحميل المؤثرة عليها مثل طبيعة نهايات كلٍ من عينة الاختبار وماكينة الضغط وكذلك الاحتكاك الناشئ بين سطحي العينة وماكينة الاختبار. وفيما يلي توضيح موجز لتأثير هذه الظروف على نتائج اختبار الضغط.

١- طبيعة نهايات العينة

فى بعض الأحيان يُغطى السطح السفلى والعلوي لعينة اختبار الضغط بواسطة وسائد لمحاولة التغلب علي خشونة عدم استواء سطح التحميل وتختلف المقاومة المقاسة للعينات ذات الوسائد عن تلك المقاسة للعينات العادية بدون وسائد حيث وُجد أن العينات ذات الوسائد تُظهر مقاومة أعلى من مقاومة العينات العادية القياسية وذلك لأن الوسائد تعمل على توزيع الحمل بانتظام على كامل مقطع العينة المختبرة. ويعتمد اختلاف المقاومة المقاسة على نوع مادة الوسادة وعلى طريقة صبها فوق سطحي العينة. وتوصى بعض الدراسات باستعمال طبقة رقيقة من عجينة الأسمنت كوسائد لأسطح تحميل عينات الضغط حيث أنه كلما كانت الوسادة رقيقة كانت نتائج الاختبار ممثلة للواقع. ويلاحظ أن استواء سطحي التحميل أو سطحي وسادتي التحميل يؤثر تأثيراً واضحاً على المقاومة المقاسة لعينة الاختبار حيث أن أي نسبة من الانحناء الناشئ فى هذين السطحين تسبب نقصاً كبيراً فى المقاومة الظاهرية للعينة.

٢- طبيعة أطراف ماكينة الاختبار

توضع عينات الضغط عند اختبارها بين فكي ماكينة الضغط اللذين يشكلان لوحي التحميل المعدنيين. ويجب أن تكون مساحة لوح التحميل المعدني مساوية على الأقل أو أكبر من مساحة سطح العينة المعرض للتحميل. ومن المعروف أنه كلما كانت العينة كبيرة أو ذات مقاومة عالية جداً فإنه يلزمها ألواح تحميل معدنية سميكة حتى لا تكون هذه الألواح مرنة بالنسبة للأحمال الكبيرة التى ستؤثر عليها مما قد يسبب تركيز الإجهادات على سطح العينة. أما إذا كانت عينة الاختبار صغيرة وألواح التحميل المعدنية سميكة نوعا ما فإنه يمكن اعتبار هذه الألواح جاسئة تماما بالنسبة للأحمال الصغيرة التى سوف تتعرض لها وبذلك تستطيع هذه الألواح أن تعطى أحمالاً موزعة بانتظام على سطح عينة الاختبار.



شكل (٨-١٥) تأثير الإحتكاك بين العينة والماكينة.

٣- الاحتكاك بين سطحي العينة وماكينة إختبار الضغط

عند تحميل الأسطح الأفقية لعينة الإختبار تنضغط هذه العينة رأسيا أو تنكمش بسبب إجهادات الضغط الواقعة عليها بينما تحاول جوانب العينة أن تتمدد أفقيا إلا أن حركة التمدد الجانبى هذه سوف تقاوَم بواسطة الإحتكاك الذى ينشأ فى هذه اللحظة بين لوحى التحميل المعدنين والسطحين الأفقيين لعينة الإختبار. وتتولد قوى الإحتكاك هذه بقيمة قصوى عند أطراف سطحى العينة وتقل قيمتها تدريجيا كلما إتجهنا إلى الداخل حتى تتلاشى تماماً كماهو موضح بشكل (٨-١٥). ولقد وجد أن الإحتكاك الناشئ بين سطحى العينة وفكى ماكينة الإختبار يؤثر تأثيراً بالغاً على نتائج الإختبارات ويلعب دوراً كبيراً فى الإختلاف الملحوظ فى نتائج إختبارات العينات الخرسانية ذات الأشكال والمقاسات المختلفة ويرجع هذا إلى أن قوى الإحتكاك المتولدة تحاول أن تقاوم الإنفعال الجانبى للعينة وبذلك فهى - بطريقة غير مباشرة - تقاوم الإنفعال الرأسى الناتج عن التحميل وبذلك تكسب العينة مقاومة زائدة لأحمال الضغط مما يسبب تسجيل مقاومة أعلى للعينة على تدريج ماكينة الإختبار.

ويلاحظ أن تأثير قوى الإحتكاك المتولدة بين سطحى العينة وفكى الإختبار يظهر فى العينات المكعبة بوضوح بالمقارنة مع العينات المنشورية حيث أنه تنعدم إجهادات الإحاطة على جوانب المنشور فى المنطقة القريبة من منتصف الإرتفاع بينما لا تنعدم هذه الإجهادات على جوانب المكعب تقريباً مما يسبب تقوية زائدة للمكعب. وتشبه إجهادات الإحاطة فى حالة الإسطوانة مثيلتها فى حالة المنشور. وذلك يفسر ميل العينات المكعبة بصفة دائمة إلىإظهار مقاومة ضغط أعلى من المقاومة التى تظهرها عادة الإسطوانة أو المنشور. كذلك يزيد تأثير قوى الإحتكاك وإجهادات الإحاطة الناتجة عنها لنفس العينات المكعبة كلما صغُر مقاس تلك العينة وبذلك تظهر العينات المكعبة صغيرة المقاس مقاومة أعلى من المقاومة التى تظهرها العينات المكعبة كبيرة المقاس.

٤- معدل التحميل

عند إختبار عينات الضغط لوحظ أنه كلما أسرعنا من معدل التحميل فإن هذه العينات تُظهر مقاومة أعلى للضغط. ولذلك فإنه ينبغى أن تحمل العينات الخرسانية المكعبة بحمل ضغط بحيث لاينتج عنه أى صدم على العينة ثم يزداد الحمل تدريجيا بمعدل ١٤٠ كج/سم٢/دقيقة حتى لحظة تسجيل العينة لأقصى حمل على ماكينة الإختبار. ولقد أظهرت بعض الدراسات المعملية أن زيادة فترة التحميل بحيث تصل إلى عدة أيام تسبب نقصا كبيراً فى المقاومة المقاسة بالإضافة إلى أن الإنفعالات المقاسة للعينة تكون أكبر بكثير من المعتاد. ولما كانت الإنفعالات المقاسة على العينة تتأثر أيضا بمعدل التحميل حيث تقل كلما زاد معدل التحميل فإنه بناءاً على ذلك يزداد معاير المرونة المقاس للعينة الخرسانية كلما زاد معدل التحميل.

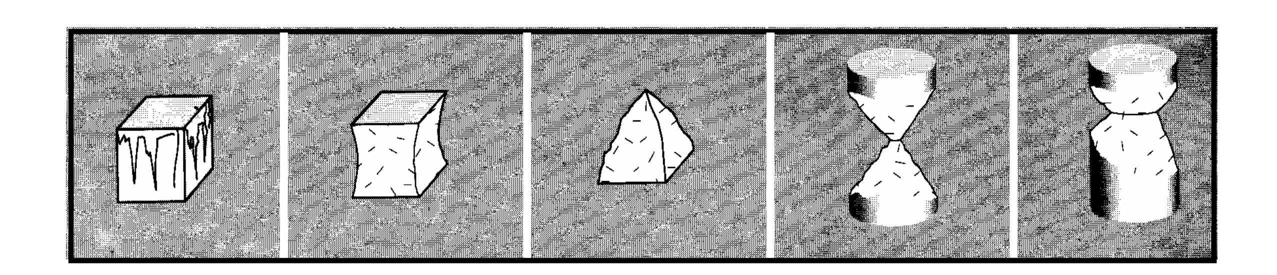
تاسعاً: إتجاه التحـميل

عند اختبار العينات المكعبة فإن تحميلها فى ماكينة الضغط يكون إما فى إتجاه الصب أو فى الإتجاه العمودى عليه ويؤثر إتجاه تحميل العينة بالنسبة لإتجاه الصب تأثيراً واضحاً على مقاومة العينة للضغط. ويُلاحظ أنه بالنسبة للعينات الإسطوانية أو المنشورية الشكل فإن إتجاه التحميل يكون دائماً فى إتجاه الصب بينما يكون إتجاه التحميل فى العينات المكعبة عمودياً على إتجاه الصب وذلك بغرض جعل الأسطح المصقولة للمكعب ملامسة لرأس ماكينة الإختبار. ولقد أظهرت بعض الأبحاث التى أجريت بهذا الشأن أن العينات التى تُختبر بحيث يكون إتجاه التحميل المؤثر عليها مطابقاً لإتجاه الصب تُظهر مقاومة أكبر بحوالى ٨% من المقاومة التى تُظهرها العينات التى تُختبر بإتجاه تحميل عمودى على إتجاه الصب. بينما أظهرت دراسات أخرى أن الخرسانة إذا كانت غنية بالأسمنت ومخلوطة ومدموكة جيداً فإن تأثير إتجاه التحميل على مقاومة الضغط المقاسة يتلاشى تقريباً خصوصاً إذا كان التحميل مؤثراً بحيث يعطى إجهادات موزعة بإنتظام على سطح العينة طوال فترة الإختبار.

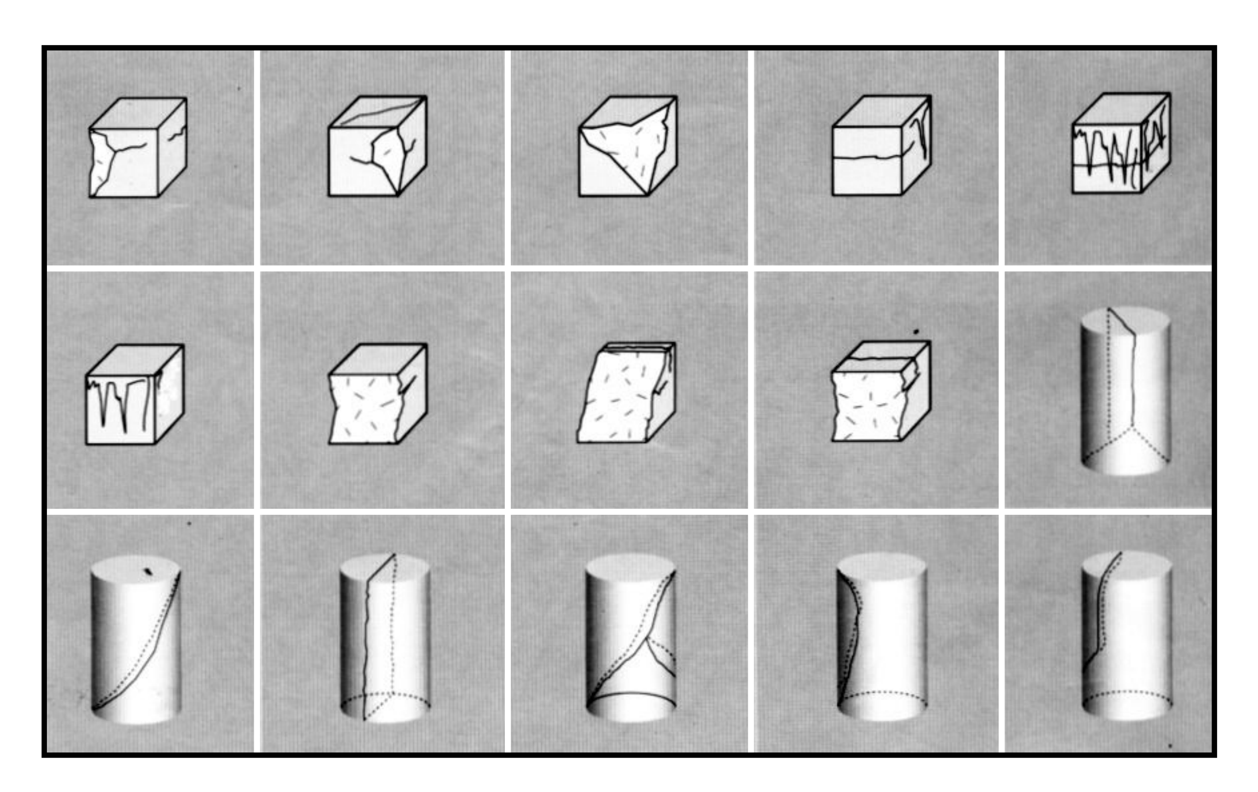
وقد يرجع سبب ضعف المقاومة للمكعبات القياسية التىتختبر فى إتجاه عمودى على إتجاه الصب إلى أن مركز ثقل المكعب الخرسانى فى هذه الحالة يكون مزحزحاً عن محور التحميل بسبب ميل هذا المركز لأن يكون قريباً من الطبقات الأفقية السفلى أثناء عملية الصب مما يسبب لا مركزية فى التحميل تضعف المقاومة المقاسة نظراً لتولد إجهادات الإنحناء.

٨-١-٢ أشكال الانهيارات المحتملة للخرسانة تحت تأثير حمل الضغط

إن الانـهيارات الحادثة فى العينات علىإختلاف أشكالها نتيجة إختبارات الضغط نادراً ما تكون بسبب إجهادات الضغط فقط وإنما هى فى الغالب إنهيار قص أو إنهيارات شد ضلعى. هذا بالإضافة إلى أن الإنهيارات التى تحدث فى عينات الإختبار تختلف فى أشكالها كليةً عن الإنهيارات الممكن حدوثها فى الأعضاء الخرسانية فى المنشأ. ومن خلال الدراسات المعملية يمكن ملاحظة أن عينات إختبار الضغط القصيرة نسبيا مثل المكعبات والإسطوانات القياسية تتأثر بإجهادات الإحاطة الجانبية الواقعة عليها من إحتكاك نـهايتها مع رأس الماكينة فتنهار على شكل مخروط ناقص كما هو موضح بشكل (٨-١٦). وهذا الشكل المخروطى ناتج عن تأثير إجهاد الضغط المحورى مضافاً عليه إجهادات الإحاطة الجانبية. بينما يلاحظ أنه لو حاولنا ملاشاة الإحتكاك الناشئ من نـهايات العينة ورأس الماكينة بواسطة طبقة من الزيت تفصل بينـهما فإن إجهادات الإحاطة تقل وبالتالى تقل مركبة القوى الأفقية المؤثرة على العينة ويتحول شكل الإنـهيار الحادث إلى شكل إنفلاق Splitting. وقد تحدث بعض الأخطاء أثناء التأثير بالحمل نتيجة عدم مركزية الحمل أو عدم إستواء أوجه العينة أو أى أسباب أخرى مما يؤدى إلى حدوث الإنـهيار بشكل غير طبيعى أو غيرصحيح كما فى شكل (٨-١٧) وغالباً تكون المقاومة الحقيقية لـهذه العينات أكبر من القيمة التى تقرأها الماكينة بنسبة قد تصل إلى ٣٠% .



شكل (٨-١٦) شكل انهيار صحيح لعينات إختبار فى الضغط.



شكل (٨-١٧) شكل إنهيار غير صحيح لعينات اختبار فى الضغط.

٨-١-٣ اختبار مقاومة الضغط Compressive Strength Test

يجرى إختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة عادة بعد مرور ٢٨ يوماً على صب العينات وفى بعض الأحيان بعد ٧ أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة.

عينات الاختبار :

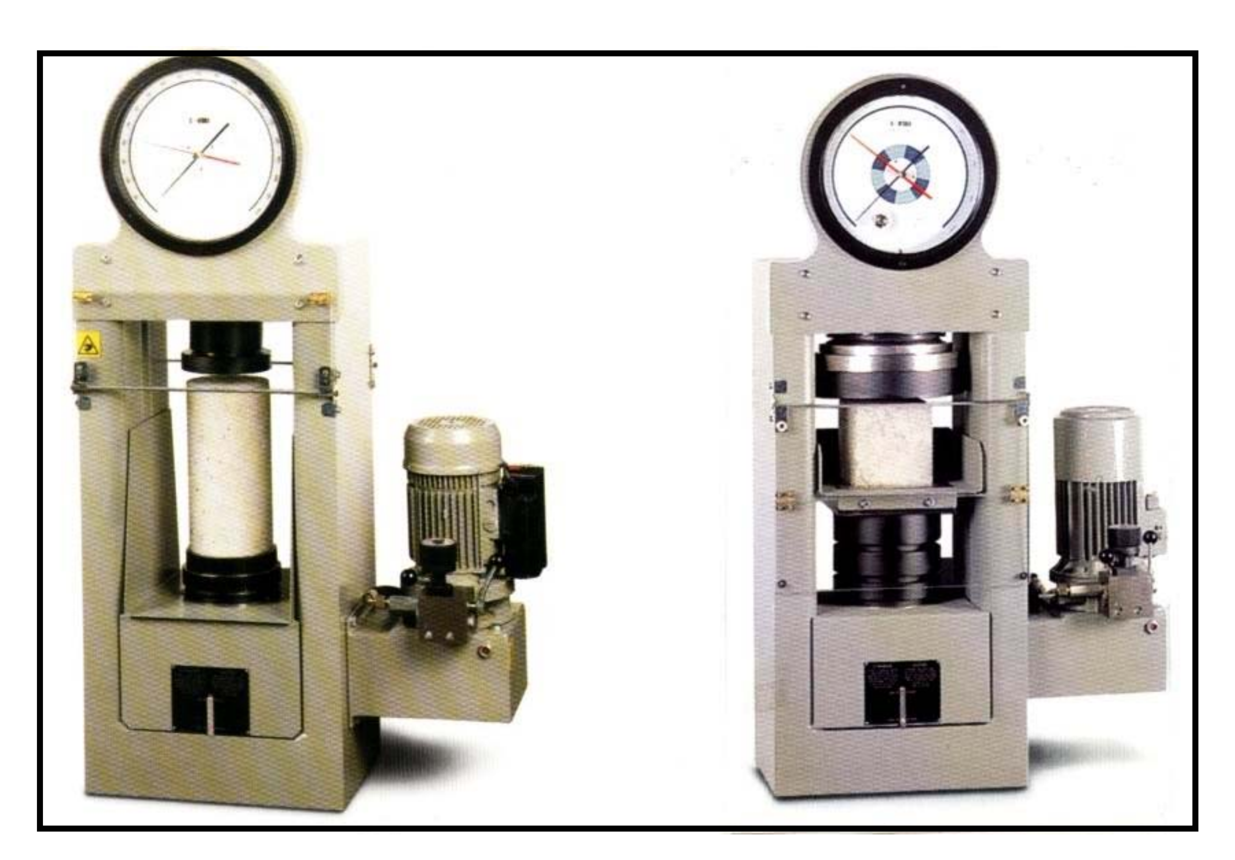
تكون عينة الإختبار بشكل مكعب طول ضلعه ١٥,٨ سم أى مساحة الوجه = ٢٥٠ سم٢ أو مكعب طول ضلعه ١٥ سم أو إسطوانة قطرها ١٥ سم وإرتفاعها ٣٠ سم.

طريقة إجراء الاختبار:

- توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير (أو المقاسات المحجوزة على المناخل منفصلة) والماء ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالى ١٥% وذلك لتعويض أى فقد أو هالك قد يحدث أثناء الإختبار.

- يُعد قالب الإختبار وتُغطى أوجه القالب الداخلية بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف.
- تخلط مكونات الخرسانة إما ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانس.
- بمجرد الإنتهاء من الخلط تُجرى إختبارات القوام (الهبوط مثلاً) وأى إختبارات أخرى تكون مطلوبة مثل إختبارات القابلية للتشغيل (عامل الدمك أو فىبى) أو إختبار تحديد نسبة الهواء فى الخلطة.
- بعد إختبارات الخرسانة الطازجة يُملأ القالب مباشرة بالخرسانة على ٣ طبقات وتدك كل طبقة إما بمكنةالإهتزاز أو يدويا حتى تدمك الخرسانة دمكاً تاماً دون حدوث إنفصال حبيبى.
- تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع فى مكان درجة حرارته ١٥ إلى ٢٠ درجة مئوية لفترة ٢٤ ساعة ويلاحظ أن لا تتعرض لأى إهتزازات.
- تُعلم العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر فى الحال فى ماء نقى درجة حرارته حوالى ١٥ - ٢٠ درجة مئوية وتُترك حتى وقت الإختبار ويُفضل ترك مسافات بين المكعبات وبعضها فى أحواض المعالجة كما يُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.
- تختبر العينة بوضعها بماكينة الإختبار حيث يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الماكينة وفى حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهى العينة الملامسين لسطحى رأس الماكينة هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلى للقالب المعدنى لضمان استوائهما وتوازيهما. أما فى حالة العينة الإسطوانية فيلزم عمل مخدة Capping لسطح كل من نهايتى الإسطوانة بطريقة تجعل سطح النهايتين مستويين ومتوازيين. شكل (٨-١٨) يبين وضع المكعب والإسطوانة فى ماكينة الضغط. ولكل إختبار تختبر ثلاث عينات وتؤخذ القيمة المتوسطة للنتائج. أما شكل (٨-١٩) فيوضح شكل الكسر فى عينات خرسانية مكعبة بعد إجراء إختبار الضغط عليها.
- تعرض العينة لحمل ضغط محورى بمعدل حوالى ١٤٠ كج/سم٢/دقيقة حتى الكسر وتدون النتائج فى جدول كما يلى:

رقم العينة	التاريخ	عمر الخرسانة	وزن العينة	أبعاد العينة	مساحة الوجه	حمل الكسر	مقاومة الضغط كج/سم٢
١ ٢ ٣	تاريخ الصب تاريخ الكسر	٧ أيام					
٤ ٥ ٦	تاريخ الصب تاريخ الكسر	٢٨ يوم					



شكل (٨–١٨) وضع للعينات المكعبة والاسطوانية فى ماكينة الضغط.



شكل (٨–١٩) الكسر للعينات المكعبة فى إختبار مقاومة الضغط.

٨–٢ مقاومة الشـد Tensile Strength

٨–٢–١ العلاقة بين مقاومتى الشد والضغط

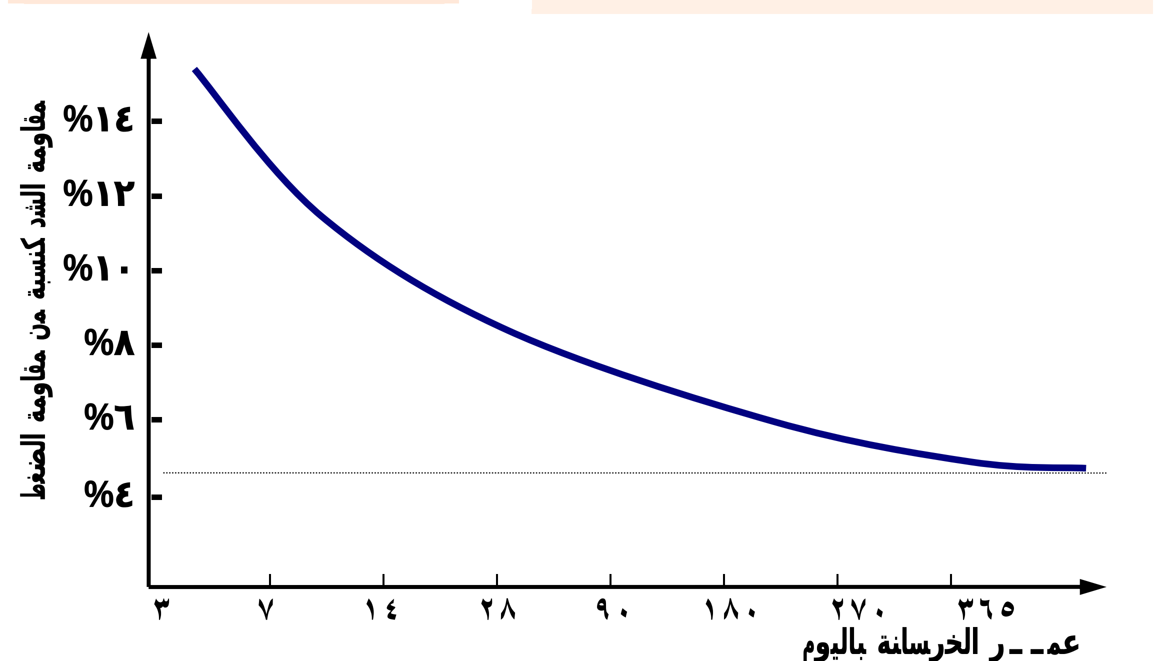
تتحمل الخرسانة العادية المتصلدة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى تصميم الخرسانة بإعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أساساً أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد (سواء المباشر أو غير المباشر) فإنها تعتبر ضعيفة المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصفة ومع ذلك إهتم الباحثون بمقاومة الشد فى الخرسانة لأن حدوث معظم التشققات والشروخ فيها ناتج عن صغر مقاومتها للشد. ومقاومة الشد فى الخرسانة تتراوح ما بين ٧% إلى ١٤% من مقاومتها للضغط أى بنسبة متوسطة قدرها ١٠% وتختلف هذه النسبة تبعاً لعمر الخرسانة كما بشكل (٨-٢٠) وكذلك تعتمد هذه النسبة على رتبة الخرسانة كما بشكل (٨-٢١) ويلاحظ أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة للضغط كلما قلت الزيادة النسبية لمقاومة الشد إلى أن تصل مقاومة الضغط إلى حوالى ٨٠٠ كج/سم٢ عندها تصل مقاومة الشد إلى أقصى قيمة لها والتى تتراوح من ٦٠ إلى ٧٠ كج/سم٢. ويمكن إستخدام المعادلتين التاليتين فى حساب مقاومة الشد للخرسانة:

١- للأعمار المبكرة

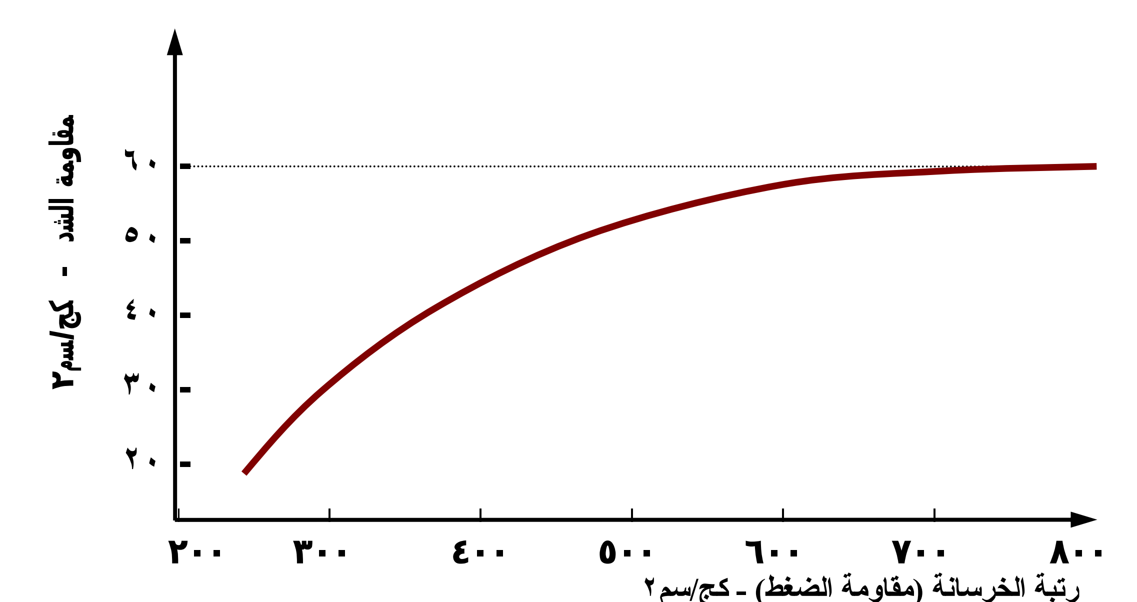
$$\frac{\text{مقاومة الشد}}{\text{مقاومة الضغط}} = \frac{١}{٨} : \frac{١}{١٢} = ١٠\%$$

٢- للأعمار المتأخرة

$$\frac{\text{مقاومة الشد}}{\text{مقاومة الضغط}} = \frac{١}{٢٠} = ٥\%$$



شكل (٨–٢٠) اختلاف مقاومة الشد بإختلاف عمر الخرسانة.



شكل (٨-٢١) إختلاف مقاومة الشد بإختلاف رتبة الخرسانة.

٨-٢-٢ طرق إختبار مقاومة الشد للخرسانة

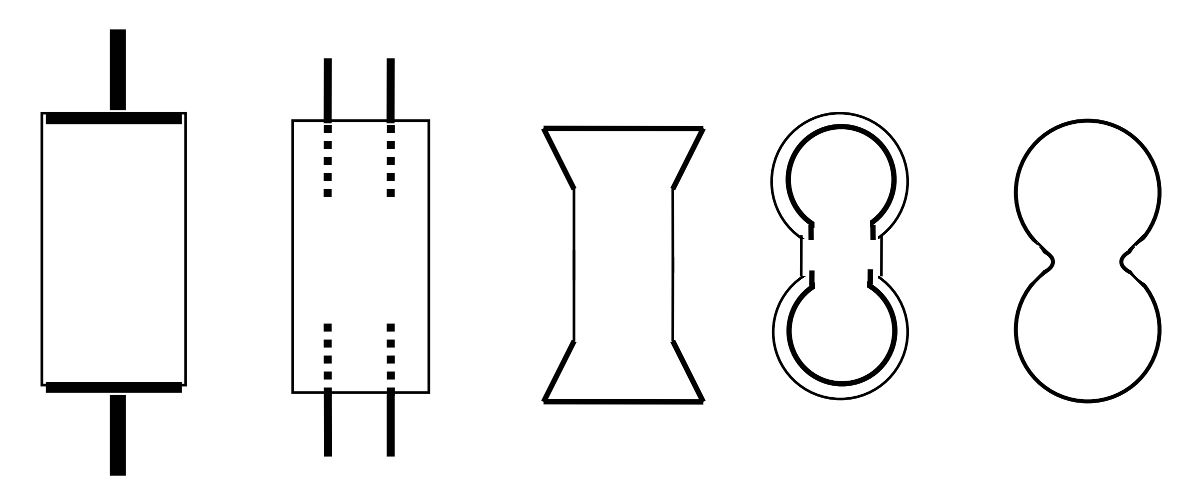
يمكن تعيين مقاومة الشد فى الخرسانة بعد ٧ أيام أو ٢٨ يوم أو أى مدة أخرى بطرق مباشرة وغير مباشرة كما يلى:

أولاً: إختبار الشد المباشر Direct Tensile Strength

تطورت أشكال العينات الخرسانية فى إختبار الشد المباشر كما هو موضح بشكل (٨-٢٢).

- **تحضر العينات للإختبار بإجراء عمليات الخلط والصب والدمك والمعالجة بنفس الطريقة السابق ذكرها فى إختبار الضغط.**
- **يجرى الإختبار بمسك العينة عند نهايتيها بماكينة الإختبار والتأثير بحمل الشد تدريجيا وببطء ويعين الحمل المسبب لكسر العينة حيث تنكسر معظمها فى المنتصف وتحسب مقاومة الشد فى هذه الحالة بقسمة الحمل الأقصى على مساحة مقطع العينة.**

$$\text{مقاومة الشد المباشر} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{P_{max}}{A} \ \text{كج/سم}^2$$



شكل (٨–٢٢) أشكال العينات الخرسانية فى إختبار الشد المباشر.

ونظراً لصعوبة إجراء إختبار الشد المباشر نتيجة الصعوبة النسبية فى صب و فك عينة الإختبار ونظراً لوجود إجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الإختبار وكذلك إحتمال عدم مركزية حمل الشد فإنه يتم اللجوء إلى طرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد.

ثانياً: إختبار الشد غير المباشر (الطريقة البرازيلية) Indirect Tensile Strength

عينة الاختبار القياسية عبارة عن إسطوانة خرسانية قطرها ١٥ سم وطولها ٣٠ سم حيث توضع هذه الإسطوانة بين رأسى ماكينة الإختبار فى وضع أفقى وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب الأبلكاج أو المطاط بعرض ٢ سم ويعين حمل الضغط المسبب لكسر العينة وعند إنهيارها يسجل الحمل الأقصى.

$$\text{مقاومة الشد غير المباشر (البرازيلي)} = \frac{٢ \times \text{الحمل الأقصى}}{\text{ط} \times \text{الطول} \times \text{القطر}} \quad \text{كج/سم}^{٢}$$

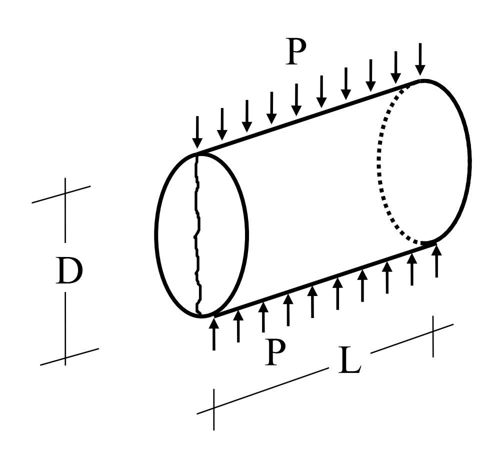
$$\text{مقاومة الشد البرازيلي} = \frac{2\,P}{\pi D L} \quad \text{كج/سم}^{٢}$$

حيث:

P = الحمل الأقصى .... كج

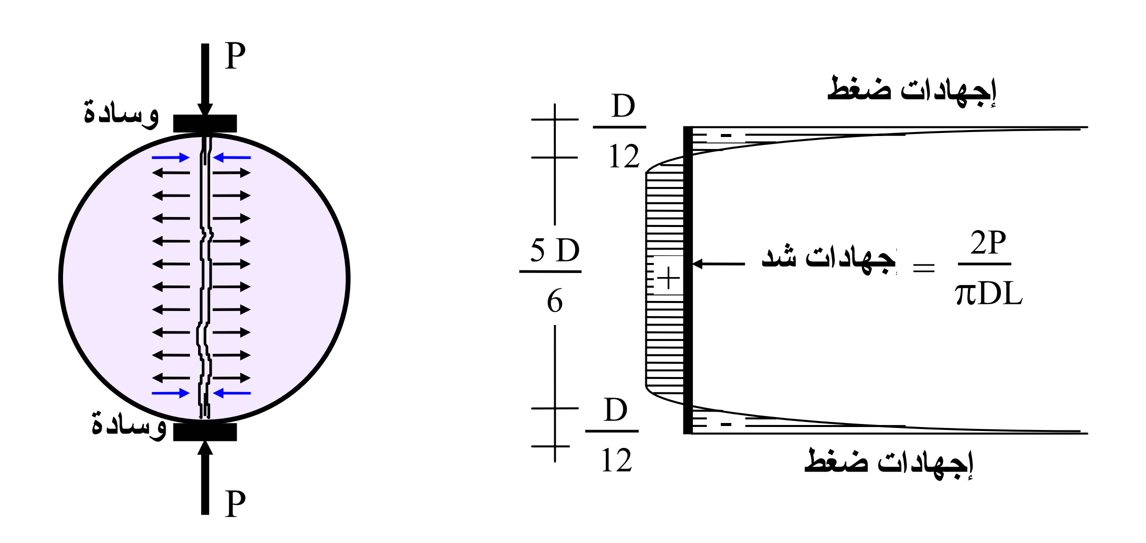
D = قطر الإسطوانة .... سم

L = طول الإسطوانة .... سم



شكل (٨–٢٣) اسطوانة الشد البرازيلى.

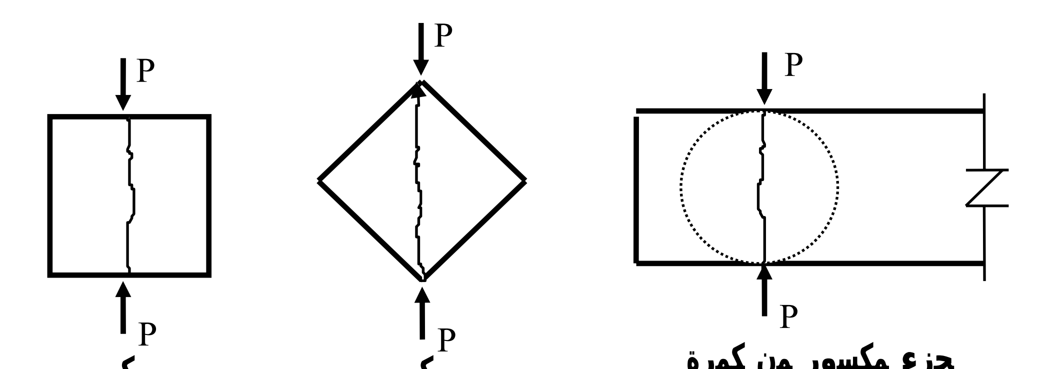
ويكون المستوى الرأسى للإنهيار هو مستوى إجهادات الشد الرئيسية حيث تكون موزعة على ٨٠% من طوله وفى نفس الوقت توجد إجهادات ضغط تتراوح قيمتها من ١٦ إلى ١٨ مرة قدر إجهادات الشد وذلك فى المنطقتين تحت تأثير الحمل مباشرة (فى طرفى مستوى الإنهيار). ويتميز إختبار الشد غير المباشر بسهولة الإجراء وكذلك لوجود إجهادات الشد بقيمة ثابتة و منتظمة على حوالى ٦٠% من طول مستوى الإنهيار كما بشكل (٨-٢٤). وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية لـ ٨٥% من قيمة مقاومة الشد البرازيلى.



شكل (٨-٢٤) توزيع الإجهادات فى عينة الشد البرازيلى.

ويمكن إجراء الإختبارعلى عينات بشكل منشور أو مكعب أو جزء من كمرة كما بشكل (٨-٢٥). وفى هذه الحالة يجب تصحيح قيمة المقاومة بضربها فى عامل k يتوقف علىتغير أبعاد العينة ويعين معمليا.

مقاومة الشد البرازيلى $= k \dfrac{2P}{\pi DL}$ كج/سم^2 .



شكل (٨-٢٥) إمكانية إجراء إختبار الشد البرازيلى على عينات مختلفة.

وعموماً فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية قد أعطى بعض القيم الإسترشادية (جدول ٨-٥) للعلاقة بين مقاومة الشد فى الأعمار المختلفة ومقاومة الشد بعد ٢٨ يوم وذلك فى حالة الخرسانة المصنوعة فى الظروف العادية والغير محتوية على إضافات.

جدول (٨–٥) قيم إسترشادية لنسبة مقاومة الشد فى أعمار مختلفة.

عمر الخرسانة (يوم)	٣	٧	٢٨	٩٠	٣٦٥
أسمنت بورتلاندى عادى	٠,٥	٠,٧١	١	١,٠٥	١,٠٥
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	٣/٢	٦/٥	١	١,٠٥	١,٠٥

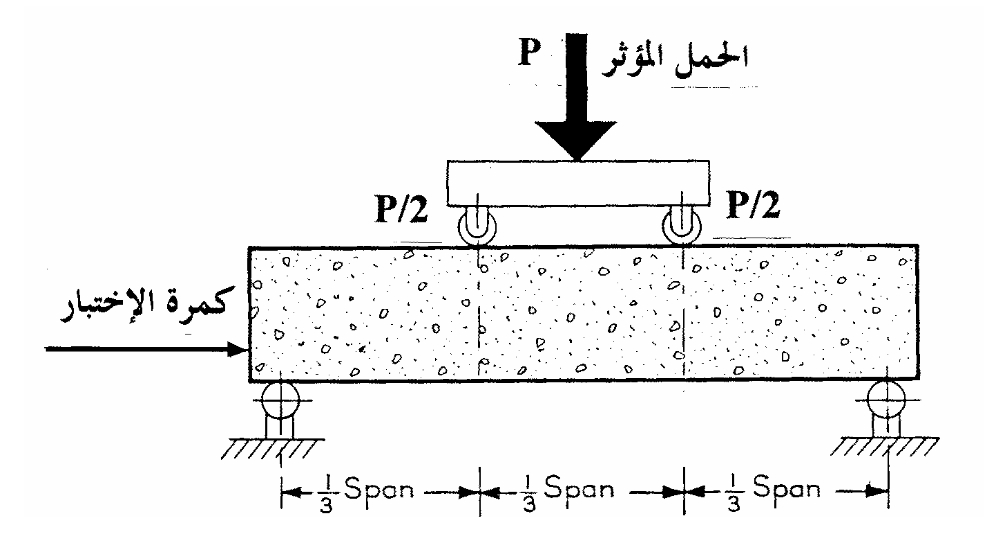
٨-٣ مقاومة الانحناء Bending Strength

عندما تتعرض كمرة خرسانية للإنحناء فإنه يمكن حساب مقاومة الإنحناء (التى تعتبر أيضاً مقياساً لمقاومة الشد غير المباشر) وتسمى معاير الكسر فى الإنحناء Modulus of Rupture وتتراوح قيم إجهادات معاير الكسر فى الإنحناء بين ١٢% - ٢٠% من مقاومة الضغط. وبالتالى فإن مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من ٦٠ إلى ١٠٠%. وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية لـ ٦٠% من قيمة مقاومة الإنحناء. ومن ذلك يتضح أن مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد البرازيلى بحوالى ٤٠%. ويجرى إختبارالإنحناء لتعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة للإنحناء ودراسة سلوك الكمرات الخرسانية عند تعرضها لأحمال إنحناء وكذلك شكل الكسر الناتج عن إنهيار هذه الكمرات.

طريقة إجراء الإختبار :

توضع الخرسانة فى قوالب على شكل كمرات أبعادها الداخلية ١٥×١٥×٧٠سم أو ١٠×١٠×٥٠ سم وذلك للركام الذى لا يزيد مقاسه الإعتبارى الأكبر عن ٢٠ مم. تخلط الخرسانة وتملأ القوالب وتدمك وتعالج بنفس الطريقة المتبعة فى الضغط ويعمل من نفس الخلطة الخرسانية عينات ضغط لإعطاء فكرة عن العلاقة بين الضغط والإنحناء.

توضع الكمرة فى ماكينة الإختبار على ركيزتين كما هو مبين بشكل (٨-٢٦) ويراعى أن يكون كل من قضيب الإرتكاز والتحميل بطول أكبر من عرض الكمرة كما يكون التحميل تدريجيا وبمعدل منتظم يؤدى إلى الوصول بالقيمة النهائية للحمل فى مدة حوالى ٥ دقائق.



شكل (٨-٢٦) شكل الكمرة فى إختبار الانحناء.

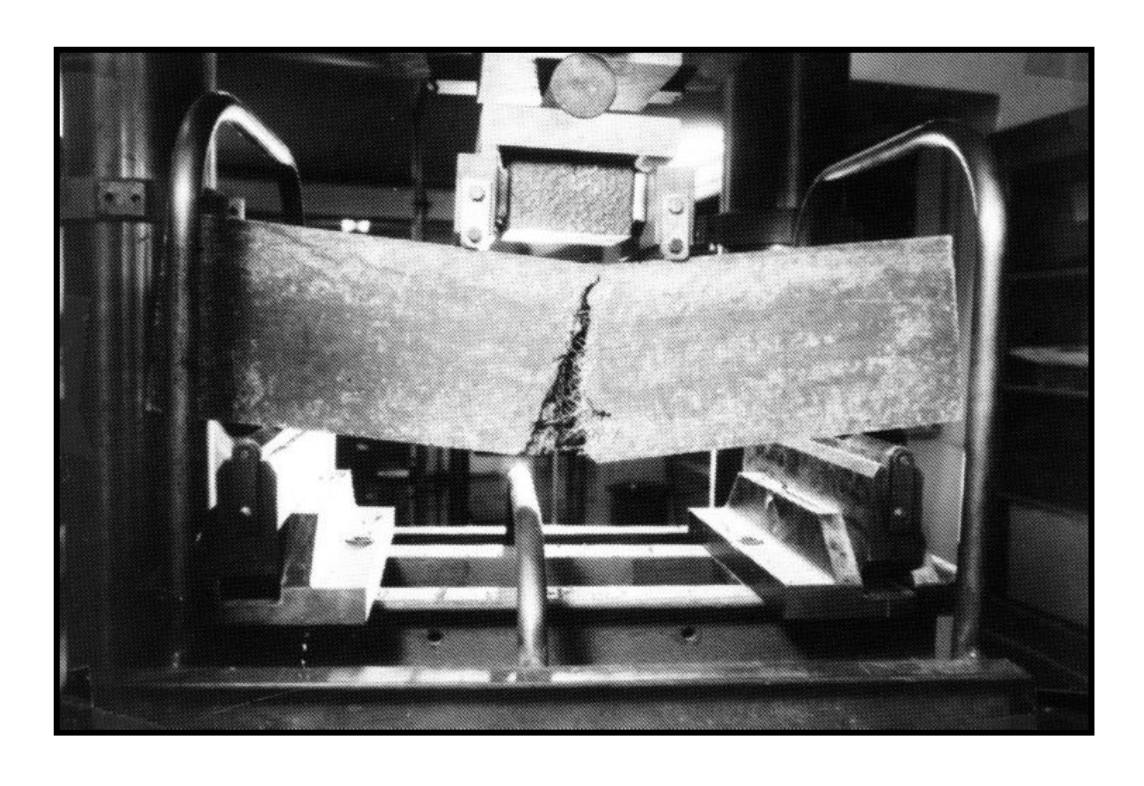
ويفضل إجراء اختبار الانحناء للخرسانة بتحميل عينة الإختبار فى نقطتين Two-Point Loading لأن ذلك يجعل جزء الكمرة الذى يحدث بداخله الكسر معرض إلى عزم خالص Pure Bending دون تواجد قص فى ذلك الجزء الأمر الذى يجعل الكسر نتيجة مقاومة الإنحناء فقط وتعبر نتائج الإختبار عن مدى تأثر الخرسانة بالإنحناء. ويمكن فىبعض الأحيان -عند الضرورة- عمل إختبار الإنحناء بالتحميل فى نقطة واحدة وهى منتصف الكمرة المختبرة ولايعطى ذلك الإختبار إنحناء خالص بل إنحناء مصحوب بتأثير القص ويكون معاير الكسر له أقل من معاير الكسر فى حالة التحميل فى نقطتين.

يدون حمل الكسر P_{max} وتحسب مقاومة الإنحناء (معاير الكسر) من المعادلة:

$$f_b = \frac{M_{max} \cdot Y}{I}$$

M_{max} = Maximum bending moment = P_{max} L / 6 (حالة حملين مركزين)
Y = h/2 ,
I = Moment of inertia = $bh^3/12$

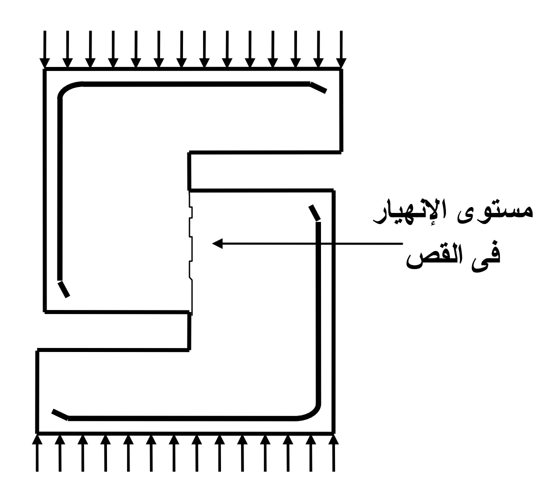
ويبين شكل (٨-٢٧) الكسر فى كمرة خرسانية معرضة لحملين مركزين.



شكل (٨–٢٧) شكل الكسر لكمرة فى إختبار الانحناء .

٨-٤ مقاومة القص Shear Strength

لا يمكن تعيين مقاومة القص فى حالة الخرسانة بقيمة صحيحة تماماً نظراً لأن قوى القص المباشرة (قوتين متساويتين ومتوازيتين تؤثران على مستويين على مسافة صغيرة جداً من بعضهما) تكون دائما مصحوبة بعزم إنحناء أى بإجهادات شد وضغط لذلك فمن النادر إجراء إختبار مقاومة القص المباشر للخرسانة وخصوصاً أنه فى إستعمالات الخرسانة نادراً ما تتعرض للقص الخالص وإنما تتعرض للقص المصحوب بإنحناء ويمكن إجراء إختبار تحديد مقاومة القص المباشر للخرسانة كما هو مبين بشكل (٨-٢٨) وهو إختبار غير دقيق النتائج. ويكون تعريض عينات الخرسانة لتأثير القص الخالص أحياناً بإجراء إختبار الإلتواء Torsion على عينة خرسانية غالباً ما تكون إسطوانية وذلك لأن الإلتواء يعطى إجهادات قص خالصة. ولكن هذا الإختبار من الصعب إجراؤه بدقة كما أن كسر العنصر الخرسانى يكون غالباً نتيجة تأثير الشد القطرى Diagonal Tension وليس بتأثير القص نظراً لأن الخرسانة ضعيفة فى الشد عنها فى القص. ولقد وجد أن مقاومة القص فى الخرسانة أكبر من مقاومتها للشد بحوالى ٢٠ إلى ٣٠% أى أنها حوالى ١٠ إلى ١٢% من مقاومة الضغط. أما إذا أجرى إختبار الإنحناء لبيان تأثير القص المصاحب لعزم الإنحناء وذلك بتقوية الكمرة المختبرة من جهة الشد بحديد تسليح لمنع الإنهيار بالشد الناتج من الإنحناء فإن القص المصاحب لعزم الإنحناء يظهر تأثيره بكسر العينة بواسطة إجهادات الشد القطرى الناتج من القص وليس بتأثير القص المباشر كما فى شكل (٨-٢٩). يتبين مما تقدم أن مقاومة الخرسانة للشد القطرى تعبر عن مدى مقاومة الخرسانة للقص لذلك لا يجرى إختبار القص للخرسانة إكتفاء بتعيين مقاومة الشد لها.



شكل (٨-٢٨) شكل عينة إختبار خرسانية فى القص.



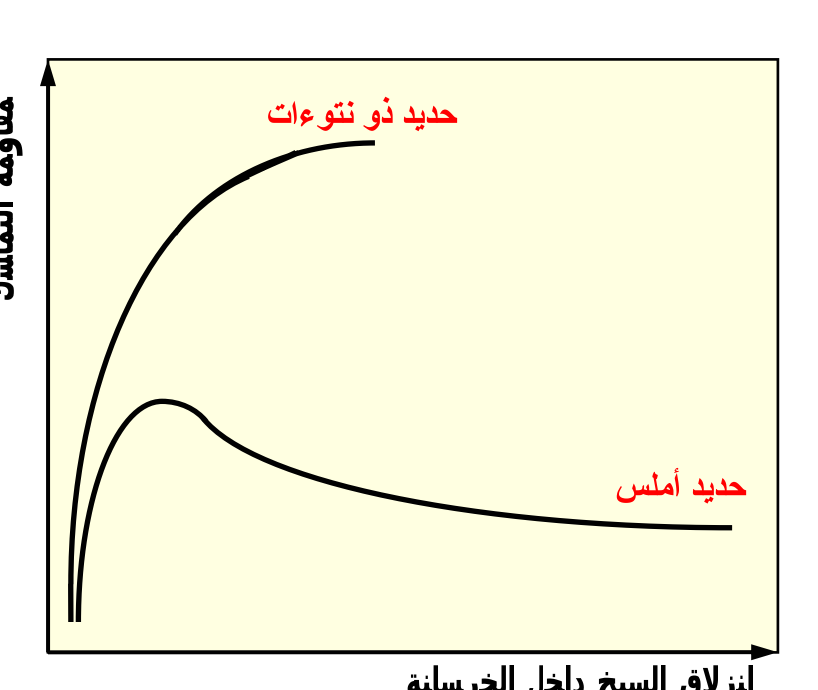
شكل (٨–٢٩) انهيار قص (شد قطرى) فى كمرة من الخرسانة المسلحة بدون كانات.

٨-٥ مقاومة التماسك Bond Strength

مقاومة التماسك هى مقاومة الخرسانة لإنزلاق سيخ التسليح الملتصق بها والموجود بداخلها ويعتبر تماسك أسياخ الحديد مع الخرسانة هو أساس فكرة التصميم الإنشائى للأعضاء الإنشائية من الخرسانة المسلحة ويتم هذا التماسك بواسطة:

- الإلتصاق مع الخرسانة Adhesion
- قوى الإحتكاك بين السيخ والخرسانة Friction
- التحميل على النتوءات البارزة فى الأسياخ Bearing

وتعتمد مقاومة التماسك على كلٍ من خواص الخرسانة وخواص الحديد وكذلك على مساحة التلامس بينهما. ومن البديهى أن تكون مقاومة التماسك أكبر فى حالة الأسياخ ذات النتوءات عنها فى حالة الأسياخ الملساء (شكل ٨-٣٠). وتتراوح مقاومة التماسك من ٢٥ إلى ٤٥ كج/سم٢ وذلك فى حالة الخرسانة ذات المقاومة العادية (≅ ٢٥٠ كج/سم٢) أما فى حالة الخرسانة عالية المقاومة فإن مقاومة التماسك قد تصل إلى ٨٠ كج/سم٢ أو أكثر. ويجرى إختبارتعيين مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح وذلك بتحديد الحمل المسبب لإنهيار وإنزلاق سيخ حديد التسليح داخل الخرسانة. وتوجد إختبارات عديدة لتعيين مقاومة التماسك تختلف عن بعضها فى كيفية تحميل سيخ حديد التسليح. وفيما يلى عرض سريع لبعض هذه الإختبارات.



شكل (٨-٣٠) مقاومة التماسك بين الحديد والخرسانة.

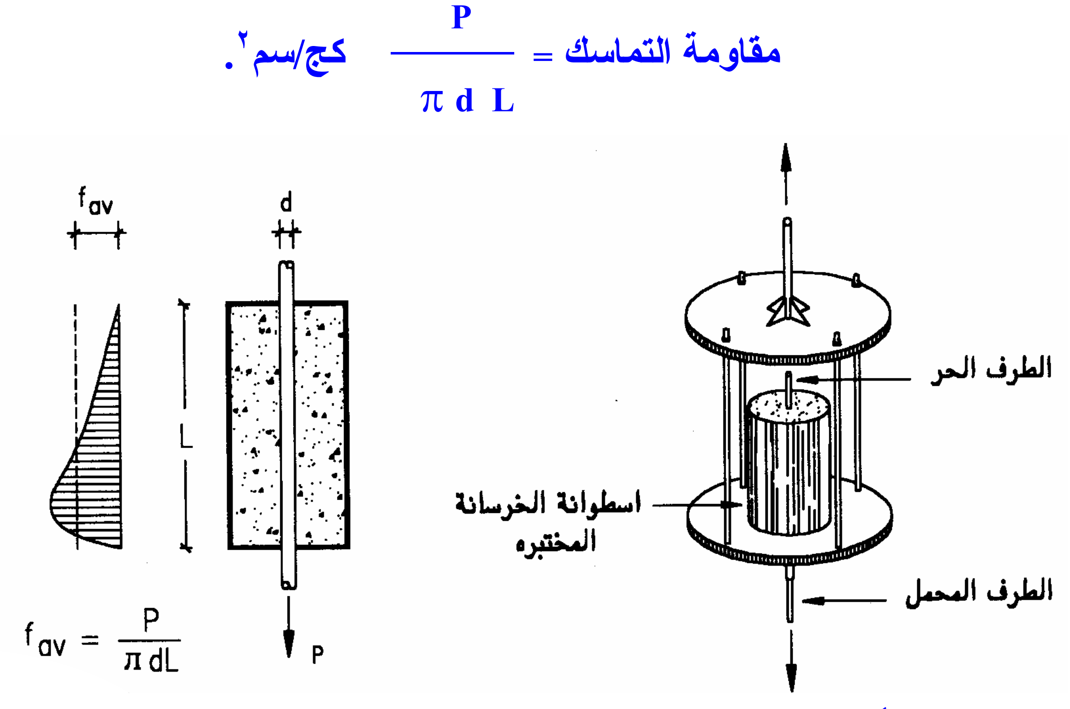
أ - اختبار الاقتلاع (الشد) Pull Out Test

- تُصب عينة الإختبار من الخرسانة على هيئة إسطوانة أو منشور على أن يكون فى محورها سيخ حديد تسليح بالقطر المعين المراد إختبار تماسكه.
- يُجرى معالجة العينة للمدة المناسبة المطلوبة وغالباً تكون ٢٨ يوما.
- تُوضع العينة بماكينة الإختبار بالطريقة التى تجعل السيخ معرضاً للشد من أحد طرفيه فقط وذلك لإقتلاعه من الخرسانة كما هو موضح بشكل (٨-٣١) وعلى ذلك يكون لسيخ الحديد طرف محمل وطرف آخر حر.
- يُركب جهاز قياس التشكل على سيخ التسليح من ناحية الطرف المحمل أو الطرف الحر أو من الناحيتين معاً وذلك لقياس الحركة النسبية بين الحديد والخرسانة.
- يُشد سيخ حديد التسليح من الطرف المحمل تدريجيا فيحدث إنزلاق Slip للطرف المحمل ويتبين ذلك بحركة نسبية بينه وبين الخرسانة يبينها جهاز قياس التشكل وتسجل قراءات الحمل والإنزلاق للطرف الآخر المحمل.
- تلاحظ قراءات جهاز قياس التشكل عند الطرف الحر حيث لا يبين الجهاز أى قراءة إلا عند تمام إنهيارتماسك السيخ مع الخرسانة وعندما يبدأ مؤشر الطرف الحر فى التحرك أى عندما يحدث أول إنزلاق للطرف الحر Initial Slip يسجل الحمل المسبب لذلك.
- تحدد من قراءات الحمل والإنزلاق للطرف المحمل قيمة الحمل المسبب لإنزلاق قيمته ٠,٢٥ مم.
- يعتبر التماسك بين الحديد والخرسانة فىحالة إنهيار فى إحدى الحالتين:

إما حدوث أول إنزلاق للطرف الحر أو حدوث إنزلاق قيمته ٠,٢٥ مم للطرف المحمل.

وعلى ذلك تحسب مقاومة التماسك أنها الحمل المسبب للإنزلاق مقسوماً على مساحة السيخ المتماسكة مع الخرسانة أى:

$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{P}{\pi\, d\, L} \quad \text{كج/سم}^2.$$



شكل (٨-٣١) قياس مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح.

ب- إختبار الدفع (الضغط) Push Out Test

يجرى الإختبار بنفس الطريقة السابقة لإختبار الإقتلاع لكن يكون تحميل حديد التسليح بالضغط بدلاً من الشد كما فى شكل (٨-٣٢). ولهذا الإختبار ميزة سهولة الإجراء إلا أنه يعطى مقاومة عالية للتماسك نظراً لأن كلا من الحديد والخرسانة فى حالة ضغط.

ج- إختبار السيخ المدفون Embedded Rod Test

يجرى الاختبار بتعريض السيخ المدفون فى عينة الإختبار والبارز من كل من نهايتها إلى حمل الشد من كل من طرفية ثم قياس الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة عند كل من نهايتي العينة بإستخدام جهاز قياس التشكل (شكل ٨-٣٣). ويعتبر الحمل المسبب لإنهيار التماسك هو الحمل الذى يحدث تغيير مفاجئ فى قيمة الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة. وتحسب مقاومة التماسك من المعادلة المذكورة سابقا وهذا الإختبار وإن كان يمثل الحالة الواقعية الفعلية لحديد التسليح داخل الخرسانة إلا أن من عيوبه صعوبة إمكان مقارنة نتائجة.

د- إختبار الإلتواء للسيخ Torsion Test

يجرى هذا الاختبار بتعريض سيخ حديد التسليح الموجود فى محور العينة المختبرة إلى عزم إلتواء (M_t) بعد تثبيت العينة فى مكنة الإختبار وزيادة التحميل (شكل ٨-٣٤). وتسجل قيمة زاوية الإلتواء المصاحبة لكل عزم إلتواء لحديد التسليح بالنسبة للخرسانة الموجودة عند الطرف المحمل والطرف الحر لحديد التسليح ثم يعين عزم الإلتواء الذى يحدث عنده الإنزلاق ثم تحسب مقاومة التماسك من المعادلة:

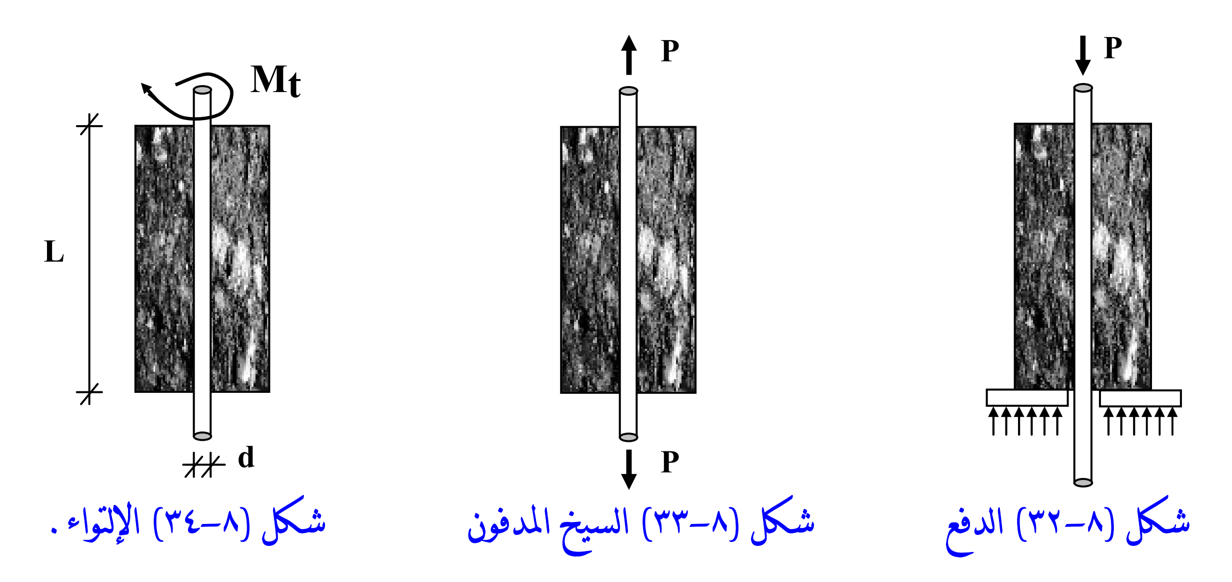
$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{2\,M_t}{\pi\, d^2\, L}$$

حيث d = قطر السيخ

M_t = عزم الألتواء عند الإنزلاق

L = الطول المدفون من السيخ فى الخرسانة.

وهذا الاختبار محدود جداً ونادر إجرائه.



شكل (٨-٣٢) الدفع　　شكل (٨-٣٣) السيخ المدفون　　شكل (٨-٣٤) الإلتواء .

هـ- اختبار الكمرة Beam Test

يجرى هذا الاختبار بتحميل كمرة خرسانية بها أسياخ تسليح فى ناحية الشد بحمل فى منتصفها أو بحمل فىنقطتين وزيادة التحميل تدريجيا كما فى شكل (٨-٣٥) فيحدث ذلك إنهيار التماسك فى المنتصف عند حمل معين ويزحف ذلك الإنهيار على طول السيخ على جانبية حتى طرفيه بإزدياد التحميل وتقاس الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة عند أى مقطع من مقاطع الكمرة ثم تحسب مقاومة التماسك عند أى مقطع على أساس الحمل المسبب لحدوث أول إنزلاق Slipبين الخرسانة وحديد التسليح عند هذا المقطع وذلك من المعادلة :

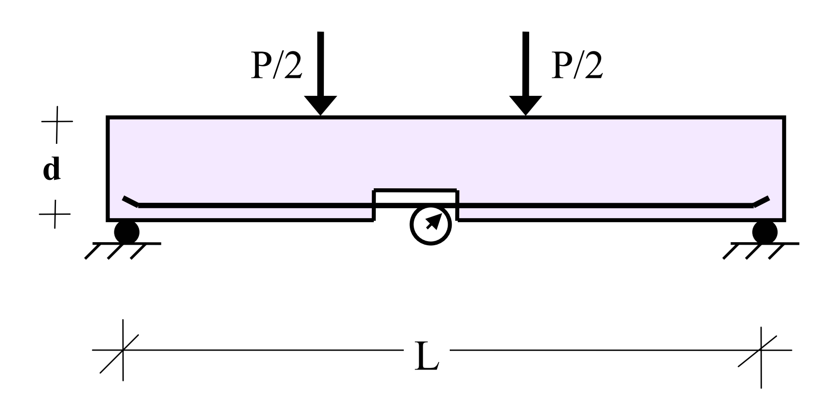
$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{V}{Y_{ct}\sum\phi}$$

حيث V = قوة القص عند المقطع المستعرض

Y_{ct} = العمق الفعال للكمرة $= 0.87\,d$

$\sum\phi$ = مجموع محيط أسياخ حديد التسليح

وهذا الإختبار يمثل تماماً حالة التماسك بين حديد التسليح والخرسانة ويمكن إستخدام نتائجه مباشرة فىالتصميم إلا أنه أكثر تكلفة علاوة على صعوبة إجرائه. ويراعى تعرية الجزء الأوسط من أسفل للكمرة حتى يمكن قياس الإنزلاق بين الحديد والخرسانة.



شكل (٨-٣٥) إختبار الكمرة لتعيين مقاومة التماسك بين الحديد والخرسانة.

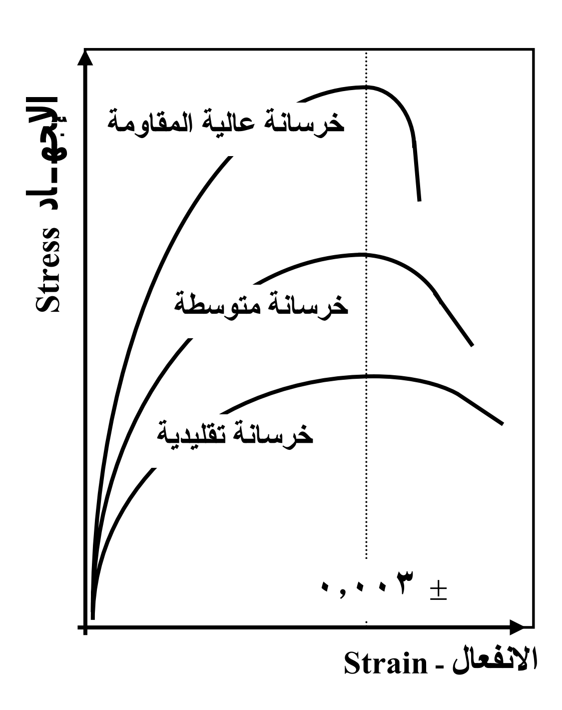
٨-٦ معاير المرونة Modulus of Elasticity

٨-٦-١ تعريف

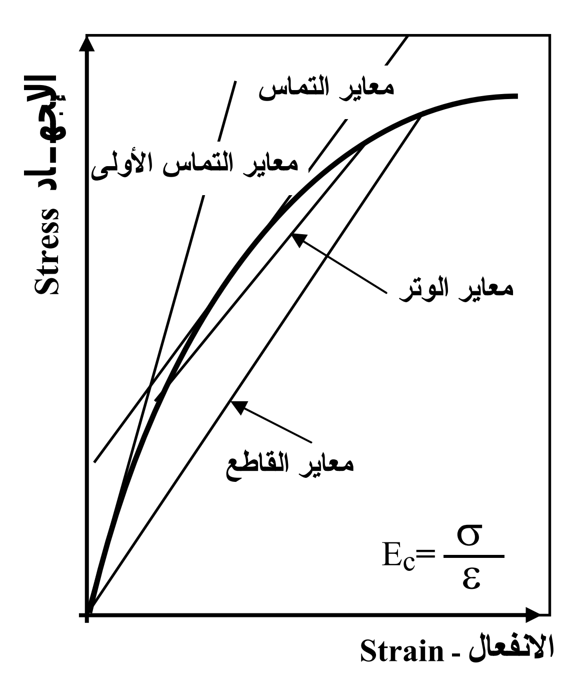
معاير المرونة هو التغير فى الإجهاد بالنسبة إلى التغير فى الإنفعال المرن. وهو يُعبر عن صلابة المادة أى مقاومتها للتشكل.

و معاير المرونة دالة فى مقاومة الخرسانة للضغط $E_c = \varphi\ (f_c)$ ونظراً لأن الخرسانة المتصلدة مادة ليست مرنه تماماً Elasto-plastic فإن العلاقة بين الإجهاد والإنفعال تكون غالباً منحنى ويقل هذا الإنحناء كلما أرتفعت رتبة الخرسانة أنظر شكل (٨-٣٦). ويمكن التعبير عن معاير المرونة بأحد الصور الأربعة الآتية والتى يوضحها شكل (٨-٣٧).

١- معاير التماس الأولى Initial Tangent Modulus
٢- معاير التماس Tangent Modulus
٣- معاير القاطع Secant Modulus
٤- معاير الوتر Chord Modulus



شكل (٨-٣٦) العلاقة بين الإجهاد والانفعال.



شكل (٨-٣٧) الصور المختلفة لمعاير المرونة.

٨-٦-٢ اختبار معاير المرونة فى الضغط Modulus of Elasticity Test

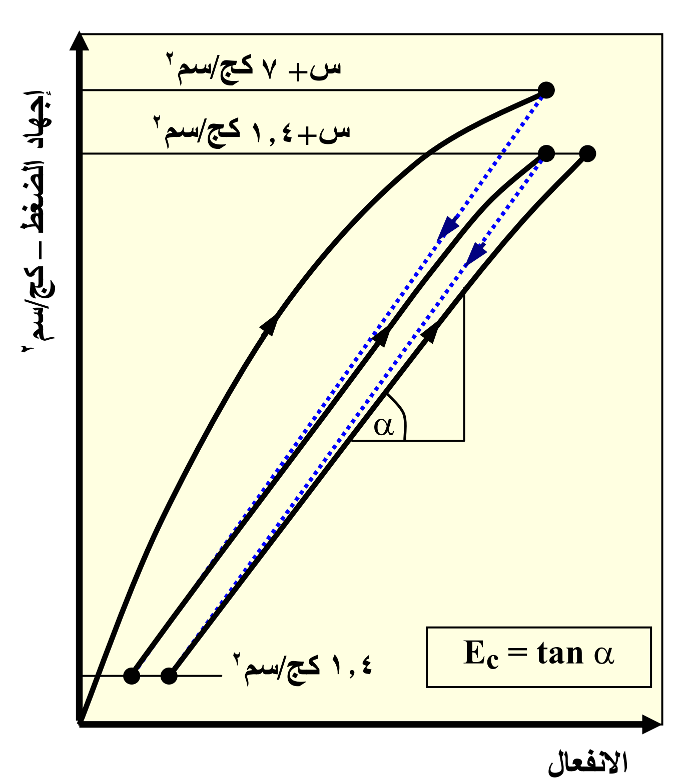
يهدف هذا الإختبار لتعيين معاير المرونة للخرسانة لفائدة ذلك فى معرفة صلابة Stiffness الخرسانة وكذلك لمعرفة قيمة معاير المرونة فى حساب تشكل المنشآت الخرسانية Deformation كما يفيد فى تعيين نسبة معاير مرونة الحديد إلى الخرسانة لأهميتها فى التصميم $n = E_s / E_c$. وفيما يلي شرح لكيفية تعيين معاير المرونة للخرسانة وذلك طبقاً لما جاء بالمواصفات الإنجليزية B.S.S. 1881

❒ طريقة التحميل الإستاتيكى

- تُعمل خلطة خرسانية وفقاً للبيانات المطلوبة وتصب وتدمك هذه الخلطة فى قوالب إما على شكل إسطوانات بقطر ١٥ سم وإرتفاع ٣٠ سم أو منشورات بحيث تكون النسبة بين الإرتفاع إلى العرض لا تقل عن ٢ وتصب من نفس الخلطة عينات للضغط بعد ٢٨ يوما.

- بعد المعالجة لمدة ٢٨ يوماً أو المدة المحددة يُثبت مقياسين للإنفعال على سطح العينة وفى مقابل بعضها وموازيين لمحور عينة الإختبار كما بشكل (٨-٣٨). تحمل العينة بمكنة الإختبار بمعدل ١٤٠كج/سم^٢^/دقيقة حتى يصل الإجهاد إلى (س + ٧) كج/سم^٢^ حيث س = ثلث متوسط مقاومة الضغط.





شكل (٨–٣٨) قياس معاير المرونة للخرسانة.

- يستمر التحميل بهذا الإجهاد لمدة دقيقة على الأقل ثم يقلل تدريجيا إلى ١,٤ كج/سم٢ ثم تؤخذ قراءات مقياس الإنفعال ثم يعاد التحميل ثانياً وبنفس المعدل إلى أن يصل الإجهاد إلى (١,٤+س) كج/سم٢ ويستمر التحميل عند هذه القيمة لحين أخذ قراءات الإنفعال ثم يقلل التحميل ثانياً وتدريجيا وتؤخذ القراءات ثانياً عند ١,٤ كج/سم٢.

- يعاد التحميل مرة ثالثة وتؤخذ ١٠ قراءات لمقياس الإنفعال عند ١٠ زيادات للإجهاد تكون متساوية تقريباً إلى أن يصل الإجهاد إلى (١,٤ + س) كج/سم٢. يتم مقارنة قيم الإنفعال الكلى الحادث فى حالتى التحميل الثانية والثالثة فإذا كان هناك إختلاف أكثر من ٥% يتم عمل دورة تحميل رابعة وهكذا حتى يصل الفرق بين دورتى تحميل متتاليتين إلى ٥% أو أقل وبذلك يمكن تحديد العلاقة بين الإجهاد والإنفعال الناتج عنه من حالة التحميل الأخيرة ويتم قياس معاير المرونة كما فى الشكل.

- تدون النتائج فى جدول يوضح الزيادة فىالحمل ومقدار التشكل المناظر ثم تحسب قيم الإجهادات والإنفعالات المناظرة ومنها يمكن رسم بيانى يوضح العلاقة بين الإجهاد والإنفعال للخرسانة ثم يعين معاير المرونة للخرسانة والذى يساوى ميل هذا الخط البيانى.

الحمل كج	قراءة أجهزة قياس الإنفعال			الإجهاد كج/سم٢	الإنفعال مم/مم
	الجهاز الأيمن	الجهاز الأيسر	المتوسط		

❑ تعيين معاير المرونة بالطريقة الديناميكية

يمكن تحديد معاير المرونة ديناميكياً وذلك بتعريض عينة الخرسانة إلى إهتزازات ترددية وتحديد عدد الدورات فى الثانية الذى يحدث عندما تكون إهتزازات الخرسانة فى حالة رنين ثم حساب معاير المرونة من معادلة معينة ترفق مع جهاز الإختبار.

٨-٦-٣ تعيين معاير المرونة فى الإنحناء

وقد يقاس معاير المرونة للخرسانة من إختبار الإنحناء الكمرى (شكل ٨-٣٩) وذلك بتعريض كمرة خرسانية لحمل مركز فى منتصفها وقياس الترخيم الحادث ثم حساب قيمة معاير المرونة كما يلى:

$$E_C = \frac{PL^3}{48\Delta I}$$

حيث:

P هو الحمل فى منتصف الكمرة

L هو بحر الكمرة

I هو عزم القصور الذاتى للمقطع المستعرض

Δ هو الترخيم عند متصف الكمرة Deflection

ونظراً لأن النسبة بين الإرتفاع و البحر للكمرة المستخدمة فى هذا الإختبار $(\frac{h}{L})$ تكون كبيرة

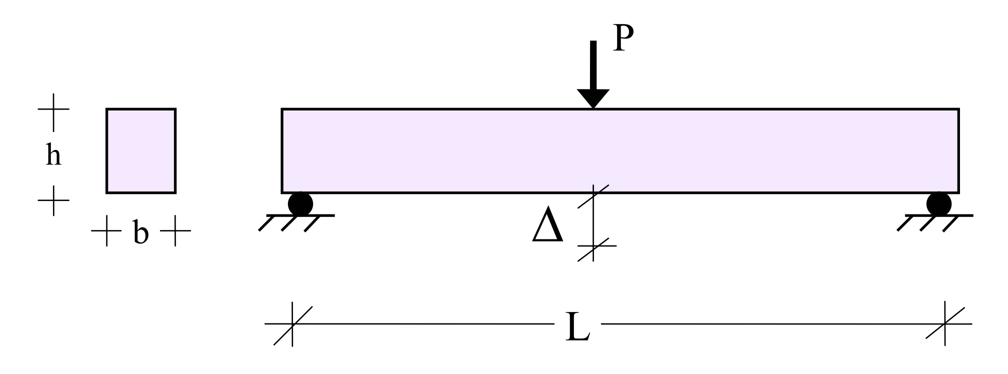
نسبياً فيفضل أخذ قيمة الترخيم الناتجة عن تأثير قوى القص فى الإعتبار. وعليه يمكن حساب معاير المرونة من المعادلة الآتية:

$$E_c = \frac{PL^3}{48\Delta I}\left[1 + (2.4 + 1.5\,\nu)\left(\frac{h}{L}\right)^2 - 0.84\left(\frac{h}{L}\right)^3\right]$$

حيث:

h هو إرتفاع (عمق) الكمرة

ν نسبة بواسون (الإنفعال العرضى / الإنفعال الطولى) وهى تتراوح من ٠,١٥ إلى ٠,٢ للخرسانة.



شكل (٨-٣٩) قياس معاير المرونة من إختبار الإنحناء.

٨-٦-٤ العوامل التى تؤثر على قيمة معاير المرونة

تؤثر العوامل المختلفة المؤثرة على مقاومة الضغط غالباً على معاير المرونة بنفس الطريقة تقريباً إلا أنه بمعدل أقل. وأهم هذه العوامل هى كمية الأسمنت - نسبة م/س - العمر - نوع وتدرج الركام - حالة المعالجة - درجة الرطوبة عند الإختبار - معدل التحميل. وهناك عاملان هامان يؤثران على قيمة معاير المرونة وهما:

- ❑ معاير مرونة الركام المستخدم.
- ❑ كثافة الخرسانة .

٨-٦-٥ بعض العلاقات لتعيين معاير المرونة

$$E_c = 14000 \sqrt{f_{cu}} \quad \text{.........................} \quad (١)$$

$$E_C = 0.136\,\gamma^{1.5} \sqrt{f_{CU}} \quad \text{.........................} \quad (٢)$$

حيث γ هى كثافة الخرسانة طن/م٣ و E_c , f_{cu} تقاس بـ كج/سم٢.

المعادلة رقم (١) هى معادلة الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة وهى قابلة للتطبيق للخرسانة المعتادة الإستخدام فى مصر والتى لاتزيد مقاومة الضغط لها عن ٤٥٠ كج/سم٢. أما المعادلة رقم (٢) فهى معادلة معهد أبحاث الخرسانة الإمريكى ACI وتأخذ كثافة الخرسانة فى الإعتبار وهى قابلة للتطبيق للخرسانة ذات الكثافة من ١٥٠٠ إلى ٢٥٠٠ كج/م٣ ويعرف معاير المرونة فيها بأنه ميل الخط الواصل من إجهاد قيمته صفر إلى إجهاد قيمته $0.45\ f_c$ (معاير القاطع).

٨-٦-٦ النسبة المعيارية Modular Ratio (n)

وهى النسبة بين معاير المرونة للصلب (E_s) ومعاير المرونة للخرسانة (E_c) وهى مفيدة فى تصميم الخرسانة المسلحة بنظريات المرونة.

أى أن

$$n = \frac{E_S}{E_C}$$

و معاير المرونة لصلب التسليح غالباً يتراوح بين ٢٠٠٠ إلى ٢١٠٠ طن/سم٢ أما بالنسبة للخرسانة فنظراً لأنها تتعرض لإجهادات متغيرة أو دائمة وأيضا إلى إجهادات نتيجة الزحف فإن قيمة معاير المرونة غالباً تؤخذ أقل من القيمة المقاسة معملياً. فإذا فرضنا أن معاير مرونة للخرسانة = ١٤٠ طن/سم٢ وللصلب = ٢١٠٠ طن/سم٢ فإن النسبة المعيارية (n) = ٢١٠٠ ÷ ١٤٠ = ١٥ أما فى حالة الخرسانة عالية المقاومة فقد يؤخذ معاير المرونة من ٢٠٠ إلى ٣٥٠ طن/سم٢ أى أن قيمة n قد تصل إلى ١٠ أو أقل.

٨-٦-٧ نسبة بواسون Poisson's Ratio (ν)

هى النسبة بين الإنفعال العرضى الى الإنفعال الطولى عندما يؤثر على الخرسانة إجهاد ضغط فى حدود المرونة. وقيمة نسبة بواسون للخرسانة حوالى ٠,٢٠ فى حالة الحمل المؤثر ببطء أما إذا كان الحمل متزايد فتصل نسبة بواسون إلى حوالى ٠,٢٢ كذلك فإن نسبة بواسون تكون أقل نسبياً فى الخرسانة عالية المقاومة ، ونسبة بواسون لها أهميتها فى التحليل الإنشائى للبلاطات المسطحة والأنفاق ولكنها لا تؤخذ فى الإعتبار فى التصميمات العادية للخرسانة.

$$\nu = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v}$$

حيث:

ν **هى نسبة بواسون**

ε_h **الإنفعال العرضى**

ε_v **الإنفعال الطولى**

****

الباب التاسع

الإختبارات غير المتلفة للخرسانة

Non-Destructive Testing of Concrete

٩-١ الهدف والمجال Scope

تهدف الإختبارات غير المتلفة للخرسانة إلى إختبار العضو الخرسانى دون حدوث أى تلف أو إنهيار به. وتتنوع الإختبارات تبعاً لنظرية إجرائها ومن أهم طرق هذه الإختبارات ما يلى:

١- طرق الإشعاع

٢- طرق الصلادة وتشمل نوعين من الإختبار:

أ - الإختبار بطريقة العلامة

ب- الإختبار بطريقة الإرتداد

٣- طرق النبضات

٤- طرق الرنين

❑ أهم تطبيقات الإختبارات غير المتلفة

١- أختبار مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة.

٢- إختبار صلادة السطح.

٣- تحديد أماكن حديد التسليح.

٤- كشف الشروخ الداخلية وتحديد أماكنها وأتساعها.

٥- تعيين محتوى الرطوبة.

٦- تعيين الكثافة.

٧- قياس معاير المرونة للخرسانة.

وتعتبر إختبارات مقاومةالضغط من أهم الإختبارات التى تساعد المهندس الإنشائى فى كتابة تقرير هندسى عن حالة مبنى قائم.

❑ أسباب اللجوء لهذه الإختبارات

١- عدم إجراء إختبارات مقاومة الضغط للخرسانة.

٢- عند وجود مشكلة بالمنشأ - مثل ظهور شروخ وتصدعات.

٣- عدم إلتزام المقاول ببعض التعليمات مثل فك الشدات المبكر والصب دون إشراف هندسى.

٤- عدم قيام المقاول بإتمام أعمال المعالجة للخرسانة.
٥- عند الشك فى نوع الأسمنت المستخدم.
٦- ورود نتائج إختبارات مقاومة الضغط غير مطابقة للمقاومة المطلوبة وقد يكون ذلك نتيجة ضعف الخرسانة أو نتيجة أسباب أخرى مثل:

- طريقة أخذ مكعبات الخرسانة.
- طريقة وضع المكعب فى الماكينة ومعدل توقيع الحمل على العينة.
- سقوط المكعب أثناء المناولة.
- فك المكعب قبل مرور ٢٤ ساعة.
- كسر المكعبات قبل مرور المدة المطلوبة (٧ أو ٢٨ يوم).
- ترك المكعبات دون معالجة حتى تاريخ الإختبار.
- عدم تجانس خرسانة المكعب (أثناء أخذها).
- تكسير أحرف المكعب عند فك القوالب نتيجة عدم إستخدام مادة عازلة.

❑ أهم الإختبارات الشائعة الإستعمال فى مجال إختبارات الخرسانة

١- إختبار مطرقة شميدت	Schmidt Hammer
٢- إختبار قياس سرعة النبضات	Ultrasonic Puls Velocity
٣- إختبار القلب الخرسانى (نصف متلف)	Core Test
٤- إختبار التحميل للعناصر الإنشائية	Loading Test

٩-٢ مطرقة شميدت Schmdit Hammer

تستخدم مطرقة شميدت لتعيين رقم الإرتداد Rebound Number حيث يعتمد عمل الجهاز على النظرية التى تنص على أن قوة إرتداد كتلة مرنة يعتمد على قوة السطح الذى تصطدم به. ويستخدم رقم الإرتداد هذا فى الإسترشاد عن القيمة التقريبية لمقاومة الضغط للخرسانة.

❑ مميزات مطرقة شميدت

١- جهاز صغير الحجم يمكن إستعماله فى المواقع وحمله فى اليد.
٢- يعطى نتائج سريعة لمقاومة الضغط وسهل الإستعمال.
٣- لا يسبب تلف للخرسانة.
٤- جهاز لا يتطلب إحتياطات معقدة.
٥- أرخص الأجهزة المستخدمة لهذا الغرض.
٦- يتحمل العمل الشاق فى جو التنفيذ مقارنة بالأجهزة الأخرى.
٧- سهولة معايرته من وقت لآخر.

❑ طريقة عمل الجهاز

١- بالضغط الخفيف على زرار بالجهاز تخرج الرأس المتحرك Plunger.
٢- يوضع الجهاز عموديا على المكان المراد إختباره ثم يضغط الجهاز فتنزلق الرأس إلى داخل لجهاز وقبل إختفائها ينفك الشاكوش ويحدث طرقة على الرأس (صدمة).
٣- عند حدوث الصدمة يجب أن يكون الجهاز عمودياً تماماً على السطح المختبر ولا يُلمس الزرار Button الموجود على الجهاز.
٤- عند الاصدام يرتد الشاكوش الطارق بمقدار يتناسب مع صلادة السطح المختبر محركاً مؤشر يتحرك على مقياس لتعيين قيمة الإرتداد.
٥- يُنقل الجهاز إلى نقطة أخرى وتُكرر العملية.
٦- بعد إنتهاء العمل يُعاد الجهاز إلى وضعه الأصلى بجعل الرأس داخل الجهاز.

❑ أنواع الأجهزة

تختلف الأجهزة من حيث قراءة رقم الإرتداد إلى نوعين كما فى شكل (٩-١):
أ - أجهزة تقرأ النتيجة على تدرج بجسم الجهاز.
ب - أجهزة مزودة بأداة تسجيل للقراءة على شريط ورقى.

يفضل النوع الثانى للأسباب الآتية:

١- يمكن لشخص واحد إستخدامه حيث أن تسجيل القراءة يتم أوتوماتيكيا.
٢- يعتبر أسهل فى الإستخدام و يمكن الرجوع إلى التسجيل البيانى للقراءة فى أى وقت.
٣- منع التلاعب أثناء إستخدام الطريقة الأولى عند تدوين القراءة بواسطة شخص آخر غير الذى يقوم بأخذ القراءات.
٤- نسبة الخطأ أقل من الحالة الأولى.

❑ طريقة الإختبار وإعداد النتائج

١- تحدد مساحة على العضو الإنشائى فى حدود ٣٠ × ٣٠ سم.
٢- يؤخذ عدد من القراءات حوالى ١٥ قراءة موزعة داخل المساحة.
٣- لا تقل المسافة بين كل قرائتين عن ٢,٥ سم.
٤- يعمل كروكى للجزء المراد إختباره وتحدد عليه مواقع النقط.
٥- لكل نقطة على حدة يحسب متوسط رقم الإرتداد وتحذف القراءات الشاذة بحيث لا يزيد الفرق بين أى رقم إرتداد و المتوسط عن ٥ وحدات. ويعتبر رقم الإرتداد مقبول إذا كان ثلثى القراءات لا تنحرف عن المتوسط بمقدار ± ٢,٥ وحدة.
٦- يتم تحويل رقم الإرتداد المتوسط الخاص بكل نقطة إلى مقاومة ضغط نيوتن/مم٢ أو كج/سم٢ بإستخدام جدول (٩-١) أو شكل (٩-٢).
٧- توضع النتائج الخاصة بجميع النقط فى جدول وتحسب مقاومة الضغط المتوسطة للخرسانة بحيث لا يزيد معامل الإختلاف لمفردات مقاومة الضغط عن ١٥%.



(أ) مطرقة عادية.

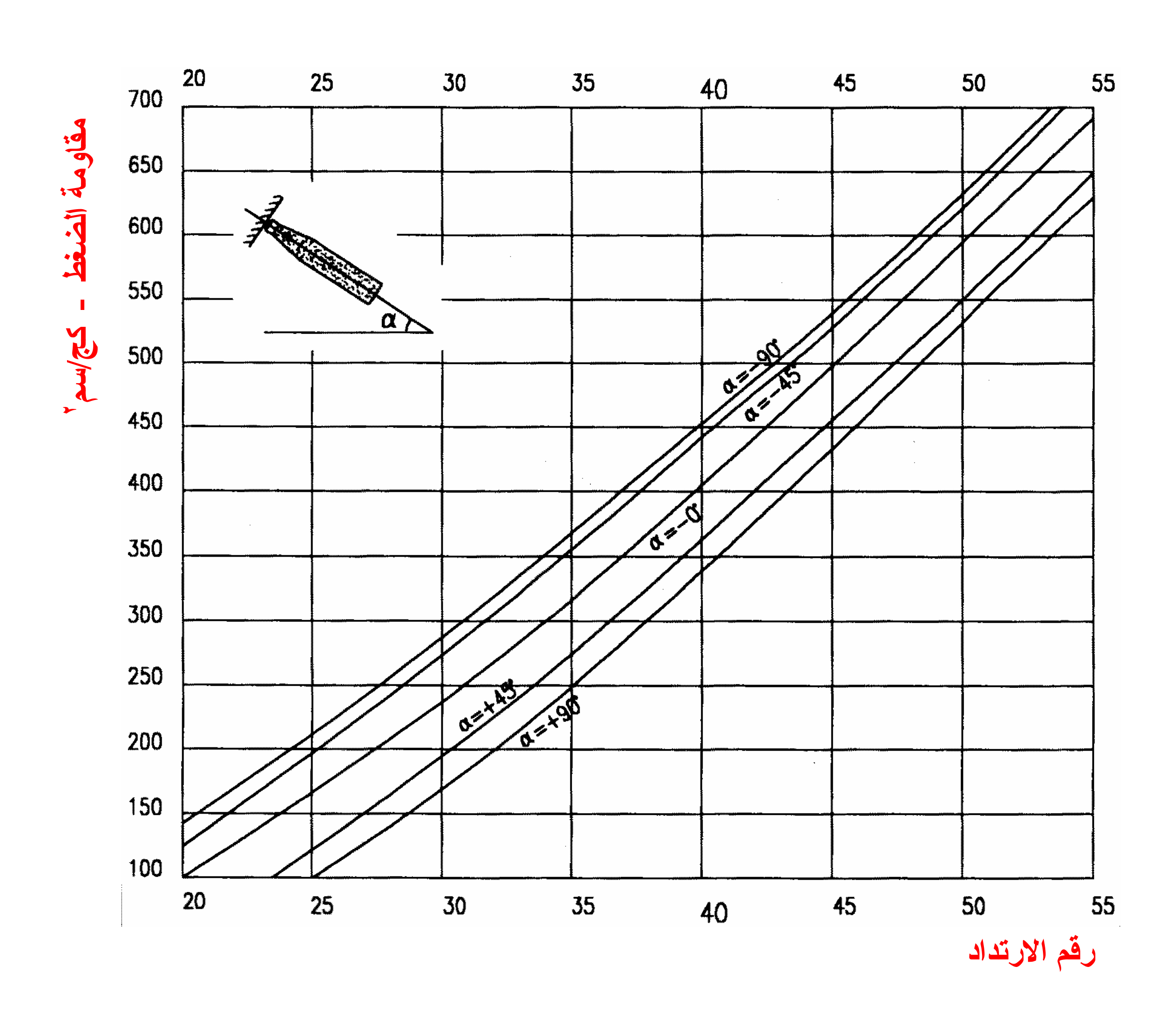


(ب) مطرقة مزودة بشريط ورقى لكتابة النتائج.

شكل (٩-١) الأشكال الشائعة من مطرقة شميدت.

جدول (٩-١) مقاومة الضغط بدلالة رقم إرتداد المطرقة (R) .

R	عمر الخرسانة ١٤ - ٥٦ يوم				عمر الخرسانة ٧ أيام			
	القيمة المتوسطة		أقل قيمة محتملة		القيمة المتوسطة		أقل قيمة محتملة	
	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa	kg/cm^2	MPa
20	101	9.9	54	5.3	121	11.9	74	7.3
21	113	11.1	64	6.3	132	12.9	83	8.1
22	126	12.4	75	7.4	145	14.2	94	9.2
23	139	13.6	86	8.4	157	15.4	104	10.2
24	152	14.9	98	9.6	169	16.6	115	11.3
25	166	16.3	110	10.8	183	18.0	127	12.5
26	180	17.7	122	12.0	196	19.2	136	13.3
27	195	19.1	135	13.2	210	20.6	150	14.7
28	210	20.6	149	14.6	225	22.1	164	16.1
29	225	22.1	163	16.0	239	23.4	177	17.4
30	241	23.6	176	17.3	254	24.9	191	18.7
31	257	25.2	193	18.9	269	26.4	205	20.1
32	274	26.9	209	20.5	285	28.0	220	21.6
33	291	28.5	225	22.1	300	29.4	234	23.0
34	307	30.1	240	23.5	315	30.9	248	24.3
35	324	31.8	256	25.1	331	32.5	263	25.8
36	342	33.6	273	26.8	348	34.1	279	27.4
37	360	35.3	290	28.4	365	35.8	295	28.9
38	377	37.0	307	30.1	381	37.4	311	30.5
39	395	38.7	324	31.8	398	39.0	327	32.1
40	413	40.5	341	33.5	416	40.8	344	33.7
41	432	42.4	359	35.2	434	42.6	361	35.4
42	450	44.1	377	37.0	451	44.2	378	37.1
43	469	46.0	395	38.7	470	46.1	396	38.8
44	488	47.9	414	40.6	488	47.9	414	40.6
45	507	49.7	432	42.4	507	49.7	432	42.4
46	526	51.6	451	44.2	526	51.6	451	44.2
47	546	53.5	470	46.1	546	53.5	470	46.1
48	565	55.4	489	48.0	565	55.4	489	48.0
49	584	57.3	508	49.8	584	57.3	508	49.8
50	604	59.3	527	51.7	604	59.2	527	51.7
51	623	61.1	546	53.6	623	61.1	546	53.6
52	643	63.1	565	55.4	643	63.1	565	55.4
53	663	65.0	584	57.3	663	65.0	584	57.3
54	683	67.0	593	58.2	683	67.0	603	59.2
55	703	69.	622	61.0	703	69.0	622	61.0



شكل (٩-٢) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الإرتداد (**R**) .

❑ زاوية ميل الجهاز

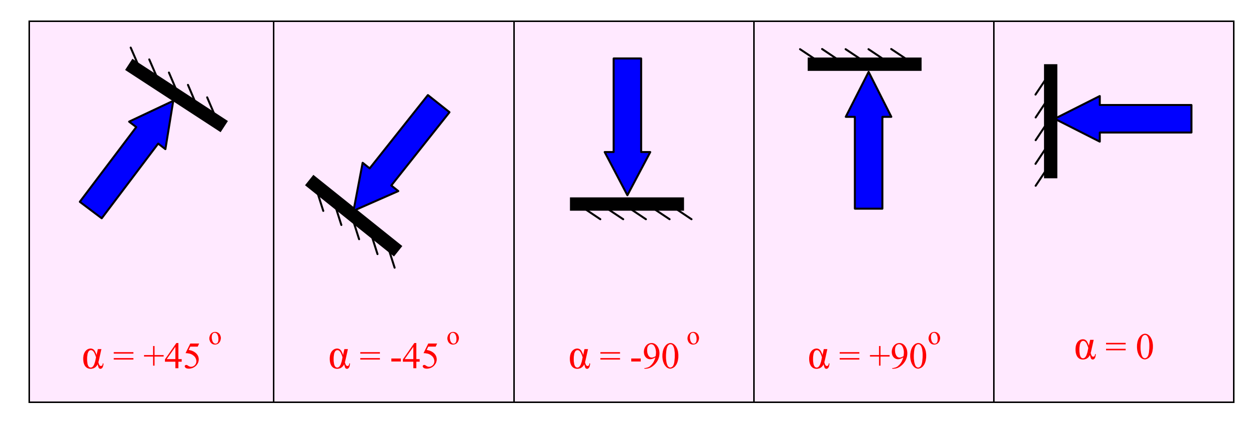
تمت معايرة هذه الأجهزة على الوضع الأفقى أى لإختبار أسطح رأسية مثل الحوائط والأعمدة وبذلك أعتبرت زاوية ميل الجهاز بالنسبة للمستوى الأفقى $\alpha = 0$ (شكل ٩-٣).

يمكن أستخدام الجهاز للأسطح المائلة بزاوية ٤٥ $\alpha = \pm 45^\circ$
وفى الوضع رأسيا لإختبار الأسقف $\alpha = +90^\circ$
أو الأرضيات وفى هذه الحالة $\alpha = -90^\circ$

يتم تصحيح القراءات طبقا للمنحنيات المناسبة (شكل ٩-٢) أو جدول (٩-٢).
فى حالة الزوايا الموجبة يتم التصحيح بطرح بعض القيم من قراءة المؤشر نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية أما فى حالة الزوايا السالبة فيتم التصحيح بإضافة بعض القيم الى قراءة المؤشر.

جدول (٩-٢) التصحيح الخاص بزاوية ميل مطرقة الإرتداد.

رقم الإرتداد (R)	التصحيح الخاص بتأثير زاوية ميل المطرقة			
	لأعلى ↑		لأسفل ↓	
	$+90^o$	$+45^o$	-45^o	-90^o
10			+ 2.4	+ 3.2
20	- 5.4	- 3.5	+ 2.5	+ 3.4
30	- 4.7	- 3.1	+ 2.3	+ 3.1
40	- 3.9	- 2.6	+ 2.0	+ 2.7
50	- 3.1	- 2.1	+ 1.6	+ 2.2
60	- 2.3	- 1.6	+ 1.3	+ 1.7



شكل (٩-٣) إستخدام المطرقة بزوايا مختلفة.

❑ إحتياطات عامة عند إجراء الإختبار

١- أن يكون الجهاز المستخدم معاير قبل الإستخدام.
٢- يكون السطح المختبر نظيف خالى من التعشيش أو المسامية.
٣- يكون السطح خالى من النتوءات وبعيد عن أماكن أعمال الخرسانة.
٤- تنظف الأسطح المختبرة باحجار الكاربورندوم المزودة مع الجهاز.
٥- لا توضع مقدمة الجهاز على زلط أو حديد تسليح فى الخرسانة المتصلدة.
٦- تزال أى مونة أو طبقات بياض قبل إجراء الإختبار وينظف مكان أخذ القراءات.
٧- فى حالة الأسطح الأفقية تزال طبقة الخرسانة الضعيفة (الجزء الزائد بالماء نتيجة النضح).
٨- فى حالة الخرسانة القديمة يتم إزالة السطح المتصلد لمسافة واحد سنتيمتر بواسطة صاروخ يدوى ذو قرص حوالى ١٢,٥ سم حيث أن هذه الطبقة لا تمثل الخرسانة.
٩- حيث أن الخرسانة تكون أكثر دمكا فى الأجزاء السفلية من العضو الإنشائى فيتم أختبار النقط فى المناطق العلوية.
١٠- يفضل إستخدام الأسطح الرأسية لإجراء الإختبارات - أعمدة - حوائط خرسانية - جوانب كمرات - جوانب قواعد.
١١- فى حالة الأعضاء النحيفة (أسقف ١٠ سم - أعمدة ١٥ سم) تؤخذ إحتياطات خاصة حيث أن مرونة هذه الأعضاء قد تؤثر على رقم الإرتداد.
١٢- الأسطح المبلله: قد نضطر الى إستخدام الجهاز فى حالة الأسطح المبللة وذلك فى الأماكن القريبه من مصادر المياه (مثل دورات المياه) وفى المنشآت المائية وكذلك فى أحواض السباحة. وفى هذه الحالة فإن المطرقة تعطى نتائج مضللة تقل بحوالى ٣٠% عن القيمة الحقيقية. ولذلك تستخدم جداول خاصة بالتصحيح (أو إجراء إختبارى مطرقة شميدت وسرعة النبضات معاً).

❑ معايرة الجهاز

يتم معايرة الجهاز فى الحالات الآتية :
١- عند تغيير نوع الركام المستخدم (دولوميت - بازلت - جرانيت - حجر جيرى)
٢- يتم معايرة الجهاز كل ٢٠٠٠ صدمة على الأكثر.
٣- كل فترة زمنية وعند ترك الجهاز مدة دون إستعمال.
٤- بعد عمل أى صيانة للجهاز.

❑ مصادر الأخطاء

١- إستخدام ركام مختلف
٢- الأجزاء النحيفة
٣- وجود فراغات وتعشيش
٤- الخرسانة الرطبة حديثة الصب سطحها أقل صلادة من داخلها (رقم إرتداد أقل من الحقيقة).
٥- الخرسانة الجاقة القديمة سطحها أكثر صلادة من داخلها ويكون رقم الإرتداد اكبر من حقيقته.

٩-٣ الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity

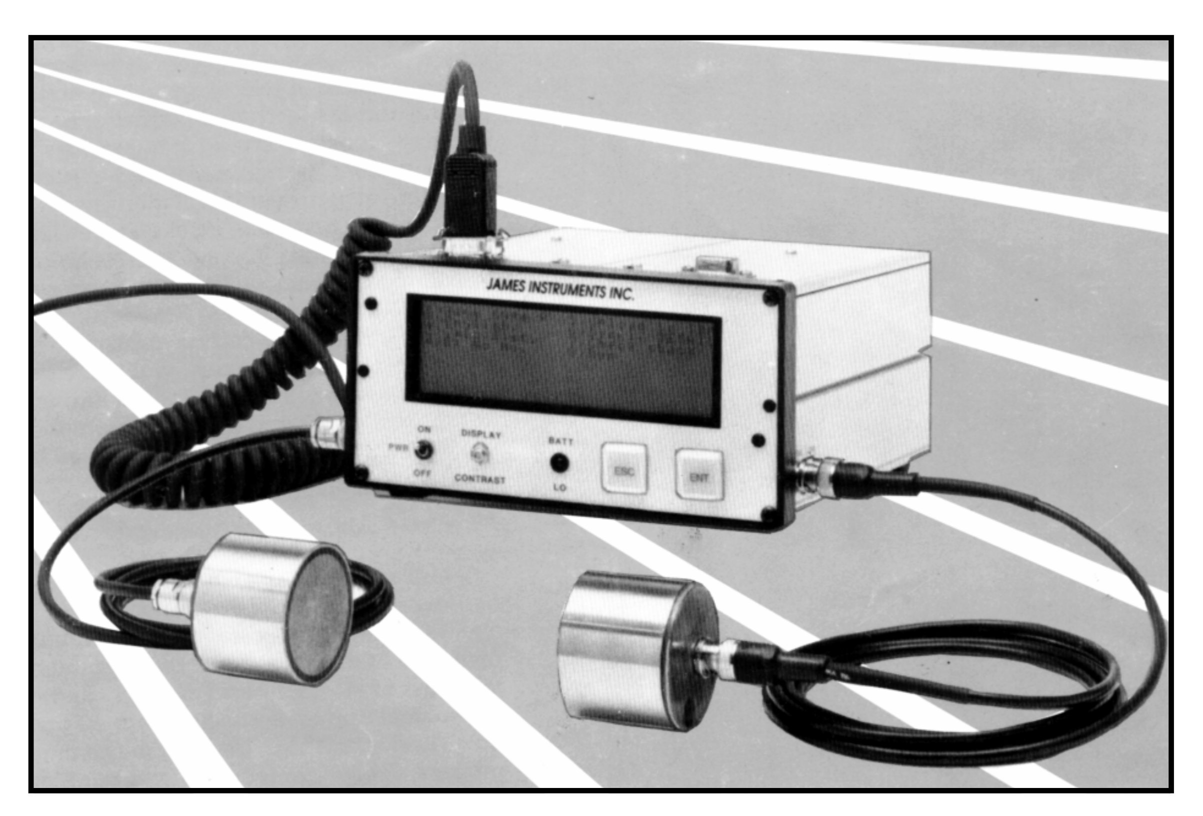
❑ الفكرة العامة

فى هذه الطريقة يتم إحداث نبضات عبارة عن موجات فوق صوتية لتسرى خلال الجزء المختبر ويتم تعيين زمن إنتقالها. حيث وجد أن سرعة النبضات خلال جسم صلب يعتمد على كثافة المادة المختبرة وخواص المرونة لها.

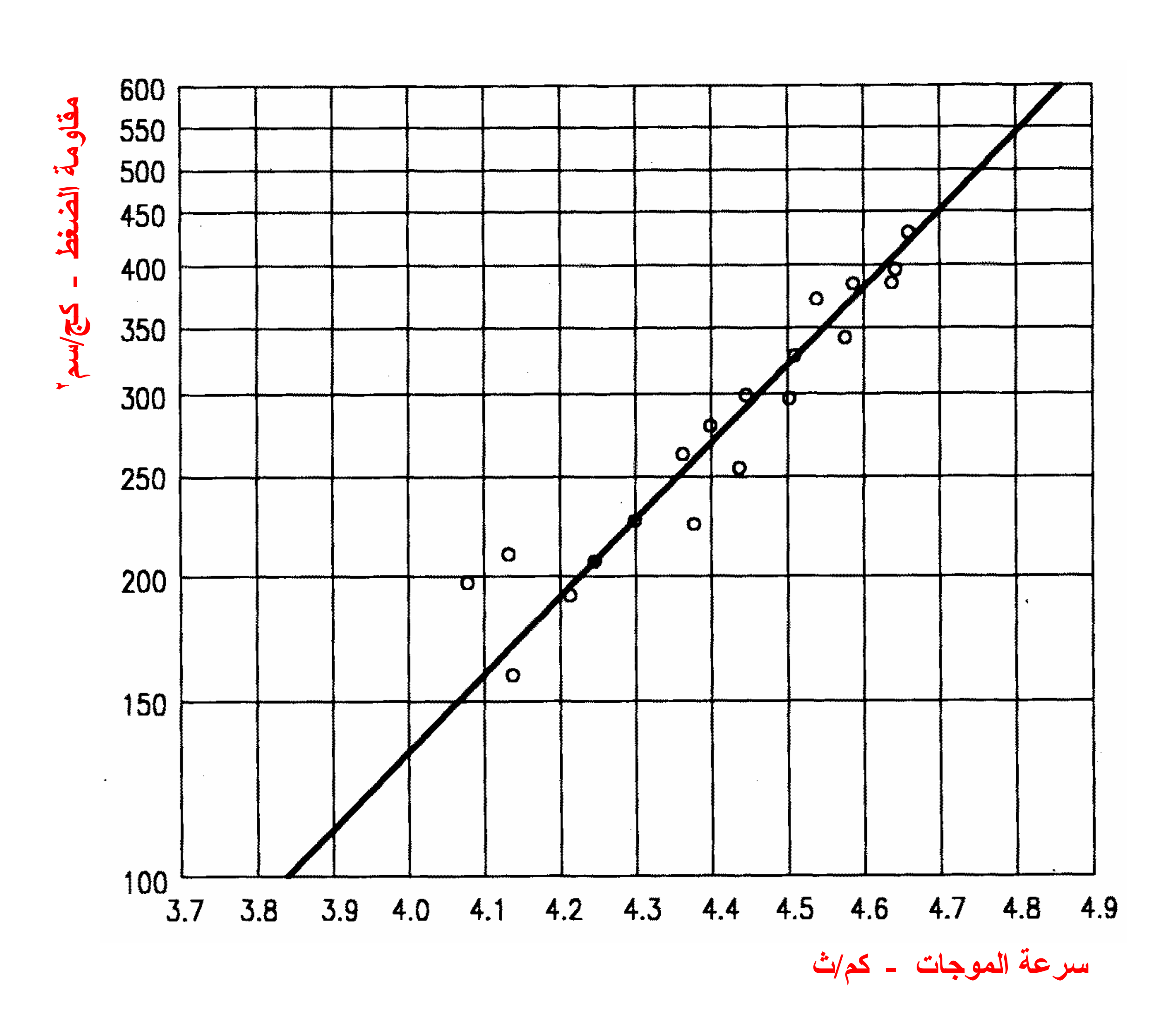
❑ إستخدامات طريقة الموجات فوق الصوتية

تستعمل هذه الطريقة (شكل ٩-٤) فى مجال الخرسانة لإستنتاج الآتى:

١- قيمة مقاومة الخرسانة للضغط.
٢- قياس معاير المرونة للخرسانة.
٣- مدى تجانس الخرسانة.
٤- إكتشاف الشروخ والفجوات بالخرسانة.
٥- تحديد درجة تلف الخرسانة.
٦- قياس عمق طبقة الخرسانة.
٧- مراقبة تطور قيم مقاومة الخرسانة للضغط.



شكل (٩-٤) جهاز الموجات فوق الصوتية الشائع الإستخدام فى مجال الخرسانة.



شكل (٩-٥) العلاقة بين سرعة الموجات و مقاومة الضغط.

❑ طريقة إجراء الإختبار

١- يتطلب إجراء هذا الإختبار كفاءة عالية.
٢- إستخدام أجهزة لإنتاج نبضات مناسبة مع المادة.
٣- يتم ضبط الجهاز مع جزء المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الإختبار على العينة.
٤- يتم قياس المسافة التى تسيرها النبضات Path Length بدقة (أى طول السير).
٥- يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وأن يكون الإتصال تام بين سطحى المرسل والمستقبل وسطح العينة (يستخدم لهذا الغرض الشحم أو عجينة الجلسرين أو الصابون السائل).
٦- عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة وإذا تأرجحت النتائج بين قرائتين يؤخذ المتوسط.
٧- يكون الرقم معبراً عن الوقت T لسريان النبضات خلال الجزء المختبر.
٨- تكون سرعة النبضات (V) كالآتى:

$$V = L / T \quad km/sec.$$

L = Length طول ا سار ا قاس

T = Transit Time زمن إنتقال ا وجة

٩- يستخدم منحنى المعايرة الخاص (شكل ٩-٥) لإيجاد مقاومة ضغط المكعب المكافئ. وقد وضع هذا المنحنى على أساس إختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات المقاومة المختلفة وتم قياس سرعة النبضات فى كل حالة. دقة النتائج تتراوح بين ± ٢٠% من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط.

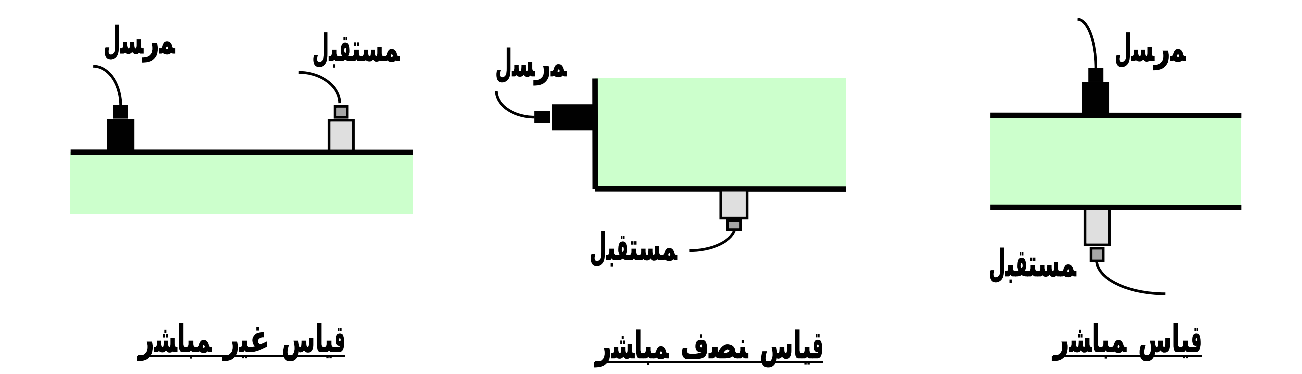
❑ وضع المرسل والمستقبل Transducers Arrangement

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل كما بشكل (٩-٦) هى:

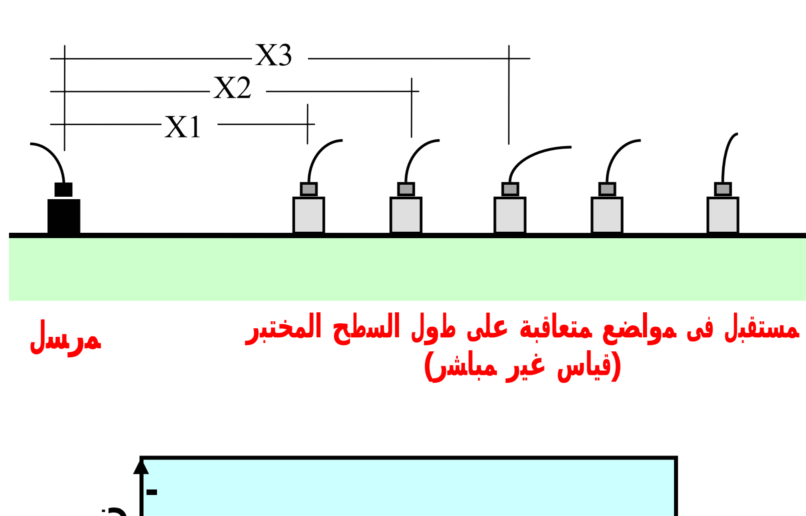
١- فى إتجاهين متضادين (قياس مباشر) Direct Transmission
٢- فى الجوانب المجاورة (قياس نصف مباشر) Semi-direct Transmission
٣- فى نفس السطح (قياس غير مباشر) Indirect Transmission

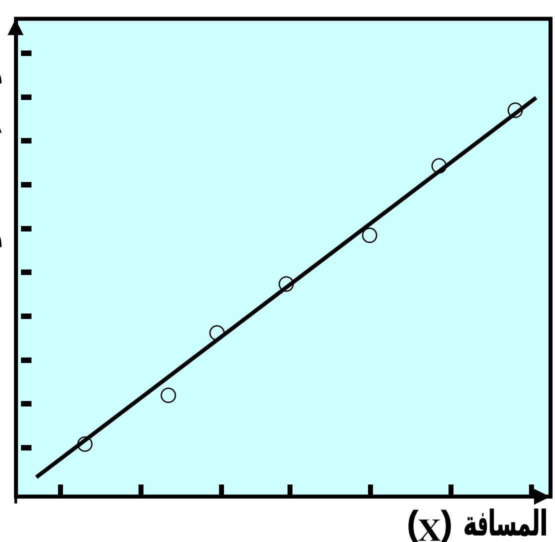
تستخدم الطريقة الأولى فى حالة إمكانية وضع المرسل والمستقبل بهذا الوضع ويمثل ذلك أفضل وضع. أما فى الطريقة الثانية فيتم الإنتقال على طول السطح وذلك فىحالة إمكانية الوصول الى سطح واحد فقط من العنصر المختبر. وفى هذه الحالة تكون العملية أقل كفاءة من السابق لأن أكبر طاقة تتجه إلى داخل الخرسانة.

والطريقة الغير مباشرة لا تعطى معلومات عن الخرسانة الضعيفة والتى تكون تحت السطح القوى المتصلد كما أن تحديد طول المسار أقل دقة وقد وجد أن السرعة فى هذه الحالة أقل من الحالة المباشرة شكل (٩-٧).



شكل (٩-٦) الأوضاع المختلفة للمرسل والمستقبل.





العلاقة بين زمن إنتقال الموجة والمسافة (X) فى القياس غير المباشر

شكل (٩-٧) الإستخدام غير المباشر على طول السطح المختبر.

❑ العوامل المؤثرة على النتائج

١- نسبة الرطوبة

العينات المشبعه تعطى نتائج أعلى من العينات الجافة (عكس إختبار مطرقة شميدت ولهذا أمكن دمج الطريقتين معا) أنظر شكل (٩-٨).

٢- درجة الحرارة

درجات الحرارة العادية لا تؤثر على سرعة النبضات.

٣- نوع الركام

يتأثر زمن إنتقال النبضات بنوع الركام المستخدم وشكله وحجمة ونسبة الخلط لذلك يعمل منحنيات خاصه لكل نوع ركام على حده كما بشكل (٩-٩).

٤- تأثير درجة التصلد

الخرسانة التى وصلت لدرجة تصلد تعادل ٥٠% من قوتها لا تؤثر على سرعة سريان الموجات.

٥- تأثير طول المسار

لا يؤثر طول المسار على نتائج قياس سرعة النبضات مع ملاحظة أن لا يكون صغيراً جداً وإلا سيكون الوسط الغير متجانس للخرسانة ذات تأثير كبير. وقد وُجد أن سمك أكبر من ١٠٠ مم أو ١٥٠ مم مع إستخدام ركام من ٢٠ مم إلى ٤٠ مم يعتبر غير مؤثر على النتائج (شكل٩-١٠)

٦- تأثير عمر الخرسانه

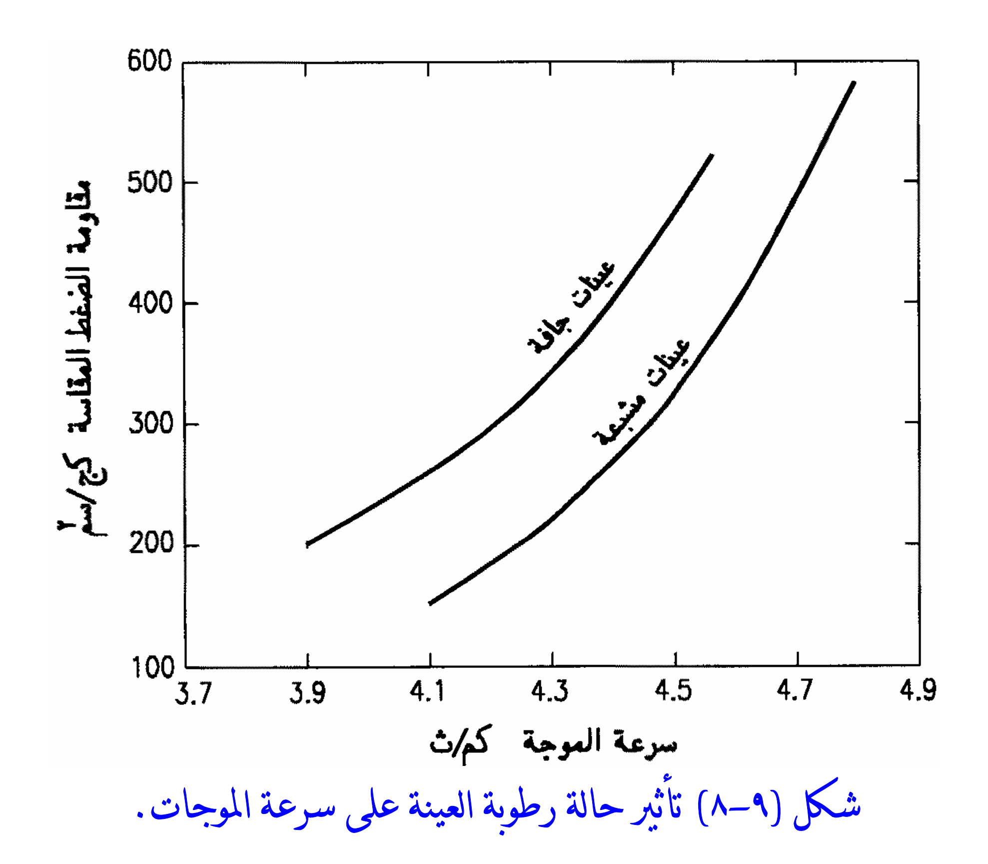
تتأثر سرعة الموجات بزيادة العمر حتى عمر ٧ أيام كما بشكل (٩-١١).

٧- تأثير حديد التسليح

يفضل تفادى حديد التسليح إذا أمكن ذلك حيث أن له تأثير فىزيادة سرعة النبضات (سرعة النبضات فى الحديد ٥,٩ كم/ث). هذا وتوجد حالتين لوضع حديد التسليح بالنسبة لخط سريان النبضات.

الحالة الأولى أن يكون محور السيخ عمودى على مسار النبضات وفى هذه الحالة تتأثر القراءات بقطر الأسياخ التى تعترض مسارها ويتم تطبيق معامل تصحيح يعتمد على قطر الأسياخ بالخرسانة كما هو مبين بشكل (٩-١٢).

الحالة الثانية عندما يكون محور السيخ موازى لخط السريان فى هذه الحالة تخرج أول موجه وتتجه لتسير خلال السيخ فى المنطقة الموجود فيها. فى هذه الحالة يطبق معامل تصحيح كما مبين بشكل (٩-١٣).



شكل (٩-٨) تأثير حالة رطوبة العينة على سرعة الموجات.

600
500
400
300
200
100
4.3 4.4 4.5 4.6 4.7 4.8 4.9

مقاومة الضغط - كج/سم٢

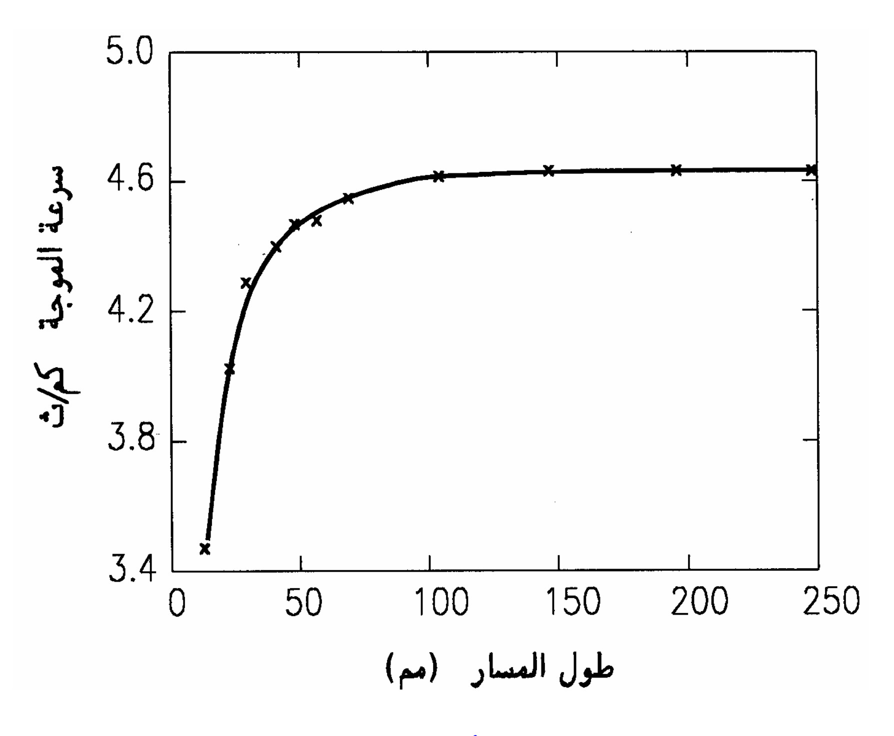
زلط

جرانيت

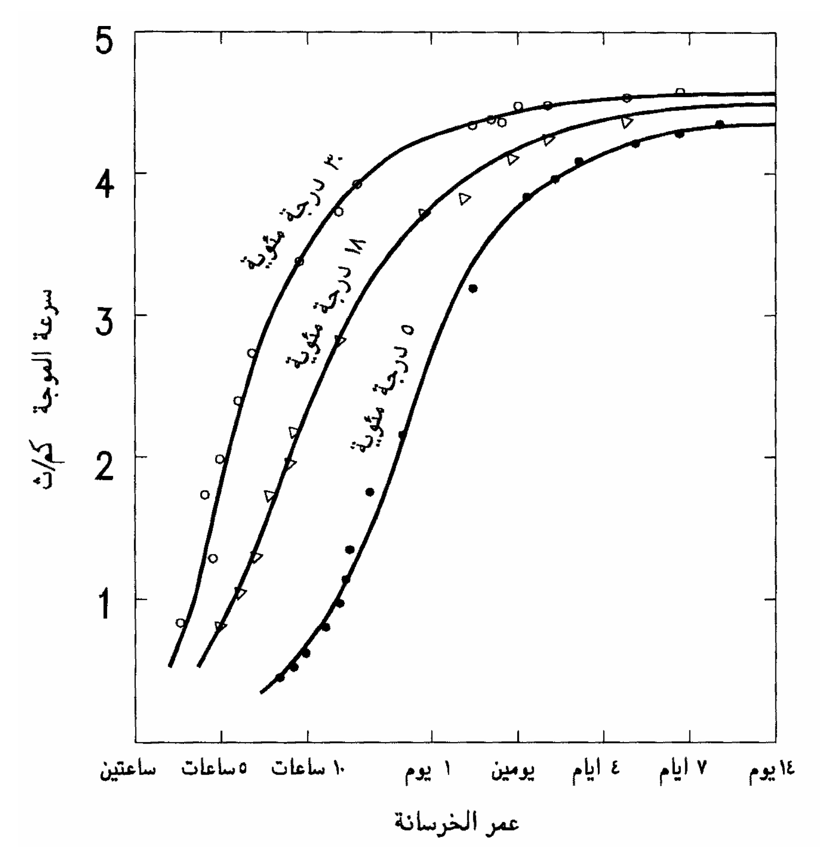
حجر جيرى

سرعة الموجة - كم/ث

شكل (٩-٩) تأثير نوع الركام على نتائج الموجات.



شكل (٩-١٠) تأثير طول مسار الموجة.



شكل (٩-١١) تأثير عمر الخرسانة على نتائج الموجات.

إستعمالات أخرى

فيما يلى نذكر بإيجاز بعض الإستعمالات الأخرى لجهاز الموجات فوق الصوتية فى مجال الخرسانة

❑ قياس درجة التجانس فى الخرسانة

معامل الإختلاف للسرعات (V) يعطى دلالة عن حالة تجانس الخرسانة وقد أعتبر أن معامل إختلاف مقداره ١,٥ - ٢,٥ % يدل على أن الخرسانة جيدة وذلك فى حالة إجراء الإختبار على القلوب الخرسانية Core Sample ويعتبر الإختلاف من ٦ إلى ٩ % مناسب فى حالة إجراء الإختبار على العنصر الإنشائى ذاته.

❑ إكتشاف الشروخ والفجوات

تعتمد فكرة إستخدام الجهاز فى إكتشاف الشروخ والفجوات على حقيقة أن النبضات لا تسرى فى الفراغ فتسلك الموجه مساراً أطول وعليه تختلف السرعة. حيث أن زمن إنتقال النبضات يزيد نتيجة لوجود الشروخ ويمكن معرفة ذلك مقارنة بزمن الإنتقال خلال الخرسانة السليمة للتعرف على خواص وطبيعة الشرخ والفجوات بدقة ± ١٥%. كذلك يمكن قياس عمق الشرخ تقريبياً وذلك بإستخدام العلاقة والمنحنى الموضح فى شكل (٩-١٤).

❑ تحديد درجة تلف الخرسانة

تستعمل الموجات فى التعرف على درجة تلف الخرسانة الناتج من تأثير حريق أو عوامل كيمائية أو ميكانيكية وذلك بتحديد سرعة الموجات بالأجزاء السليمة من العنصر الإنشائى وإعتبار أن سرعة إنتقال الموجه خلال الطبقة التالفة مساوياً للصفر. وتحسب عمق الطبقة التالفة من العلاقة:

$$t = (T V_c - L)$$

حيث:

t = عمق الطبقة التالفة

V_c = السرعة الفعلية للموجات خلال الخرسانة

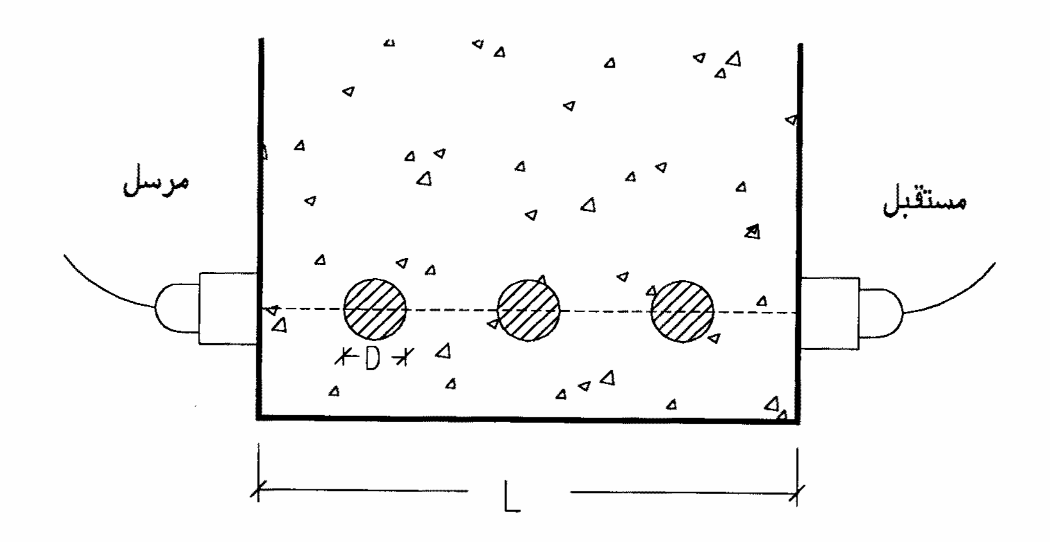
T = زمن إنتقال الموجة خلال الخرسانة الموجودة

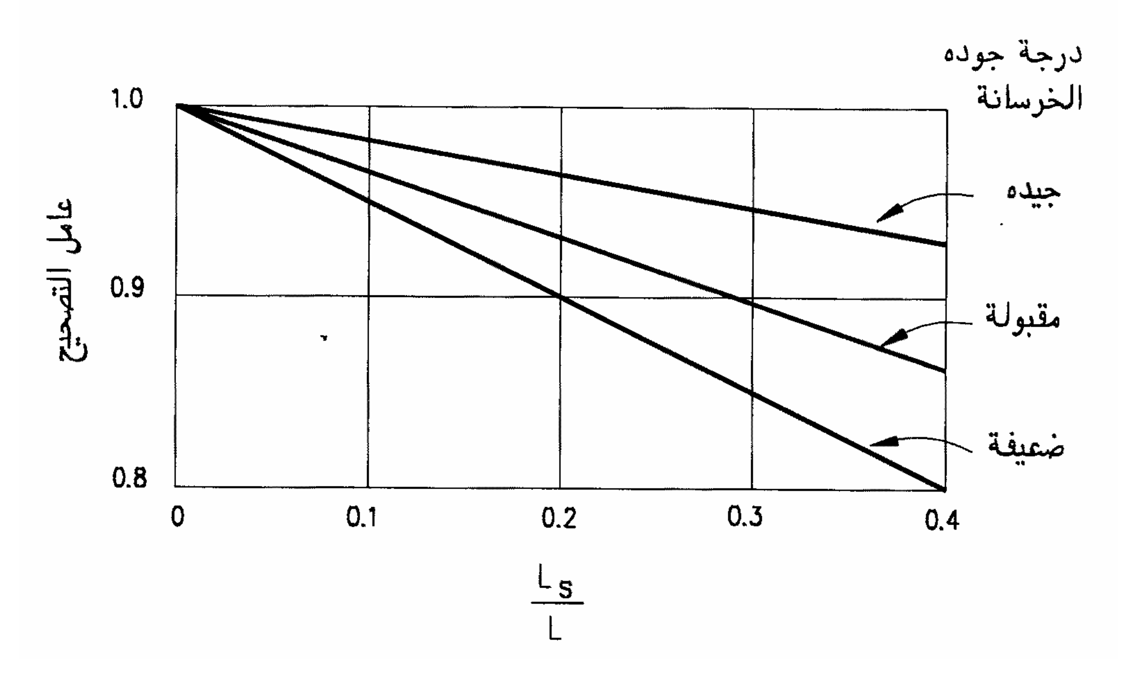
L = طول مسار الموجه خلال الخرسانة

ونسبة الخطأ فى هذه العلاقة كبير فى حالة عدم الدقة فى القياس.

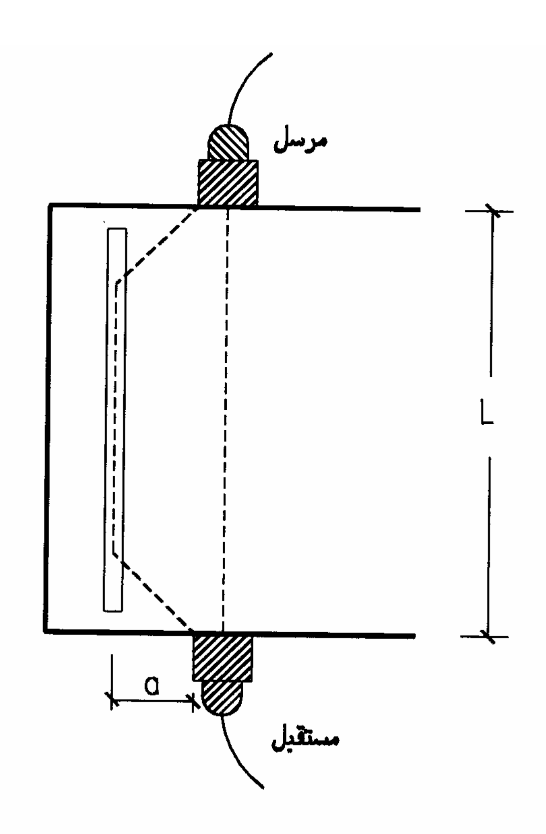
❑ قياس معاير المرونة

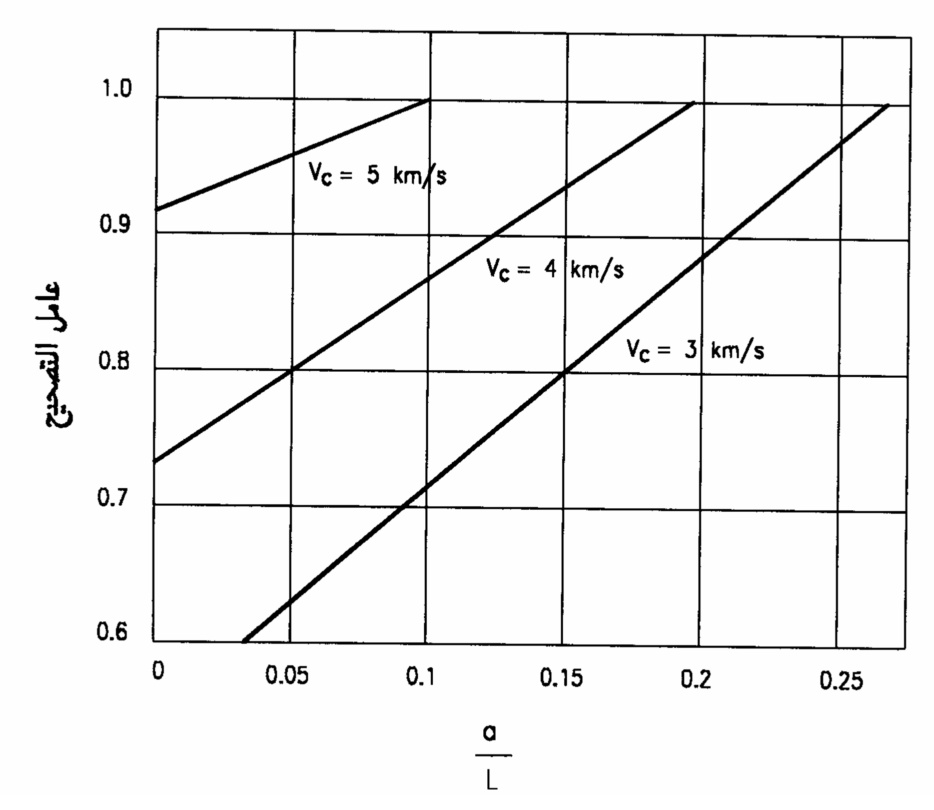
يستعمل جهاز الموجات فوق الصوتية أيضاً فى قياس معاير المرونة للخرسانة وذلك بإستخدام منحنيات تم معايرتها على خرسانات ذات قيم مختلفة لمعاير المرونة كما بشكل (٩-١٥).



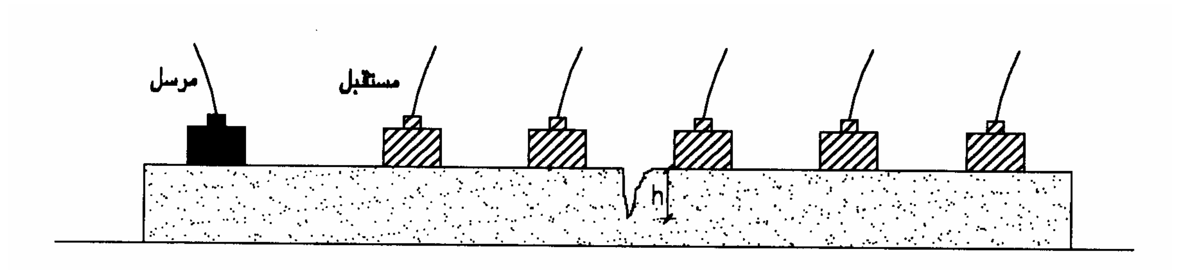


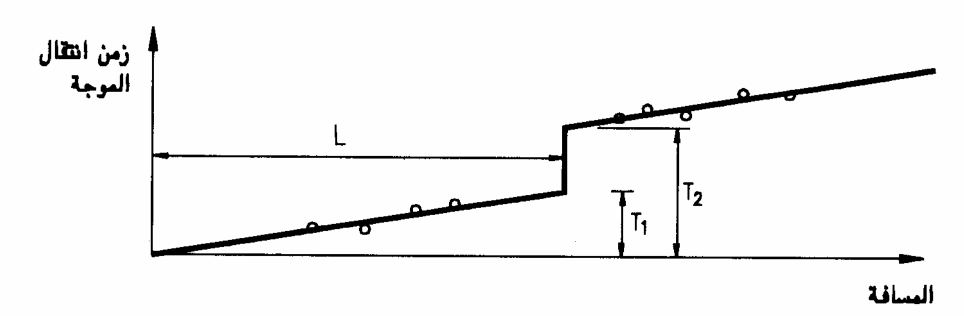
شكل (٩-١٢) تأثير حديد التسليح العمودى على إتجاه الموجات.



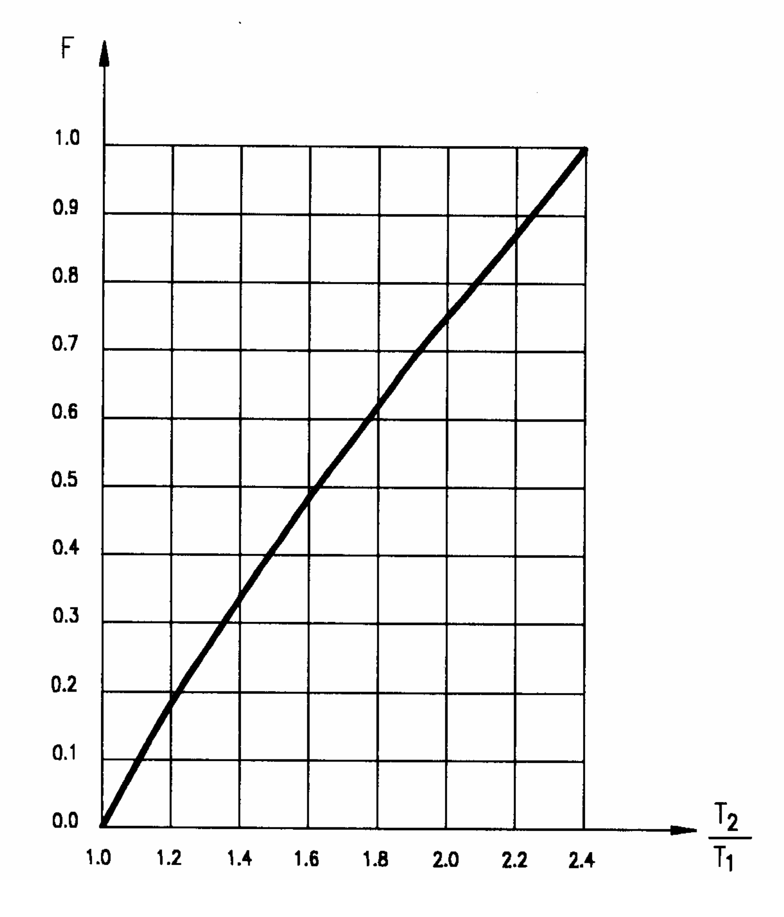


شكل (٩-١٣) تأثير حديد التسليح الموازى لإتجاه الموجات.



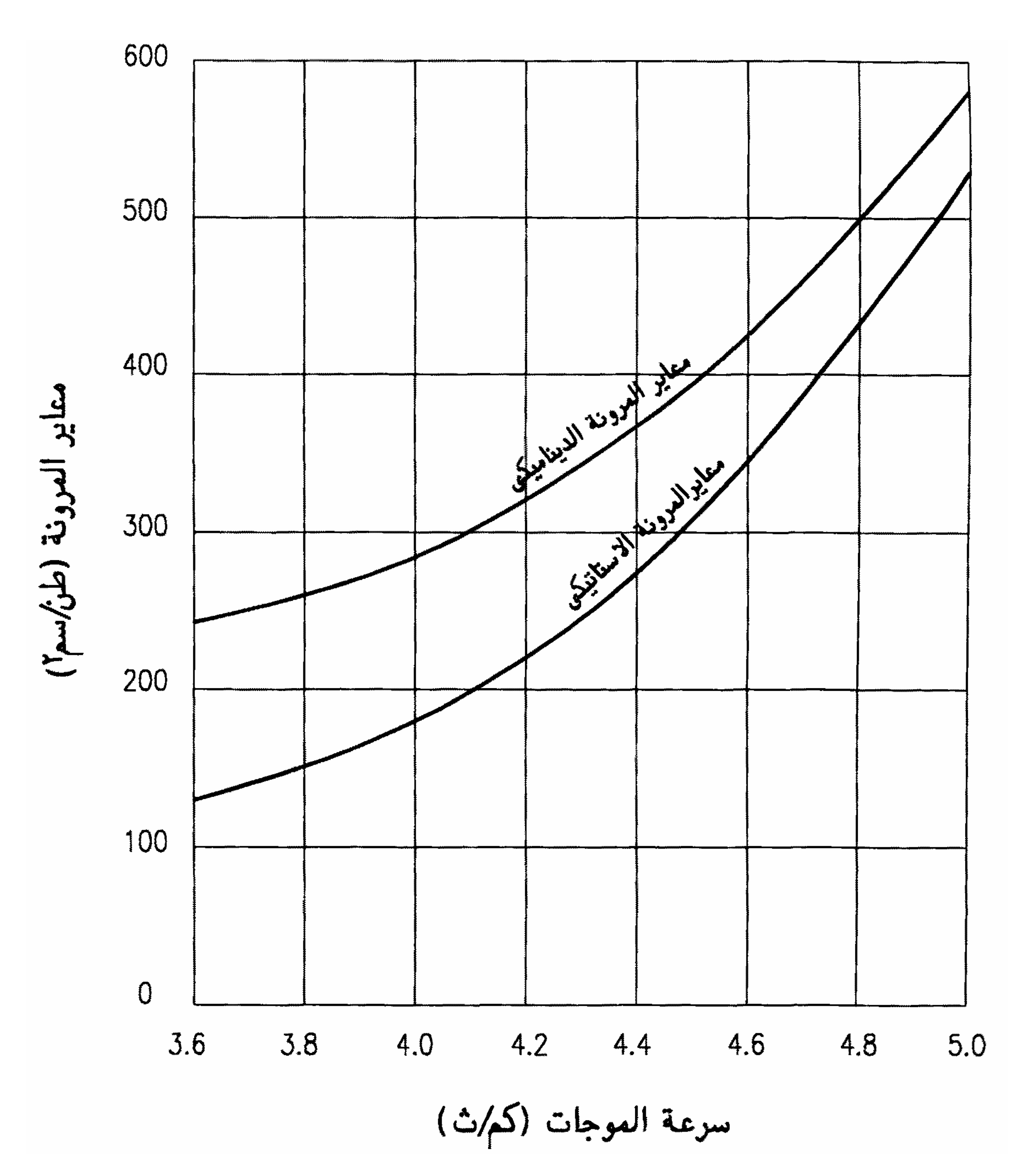


$$h = \frac{L}{2}\left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2}\right) = F.L$$



$\frac{T_2}{T_1}$	F
1.0	0.0
1.1	0.095
1.2	0.183
1.3	0.265
1.4	0.343
1.5	0.417
1.6	0.488
1.7	0.556
1.8	0.622
1.9	0.687
2.0	0.750
2.2	0.873
2.4	0.992

شكل (٩-١٤) تحديد عمق الشرخ بإستخدام الموجات فوق الصوتية.

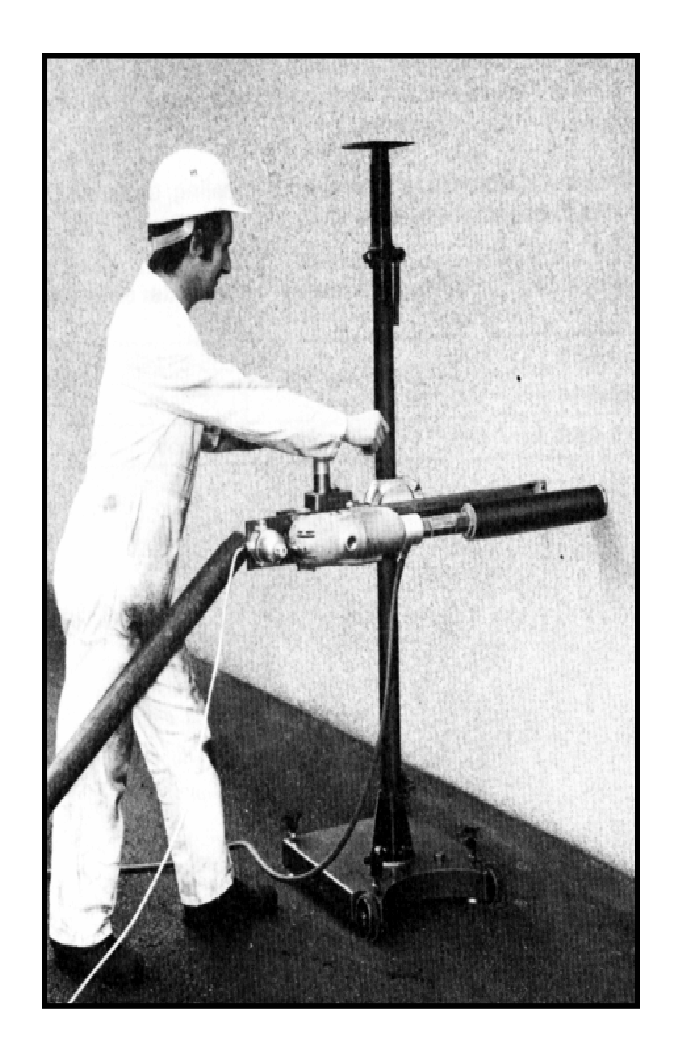


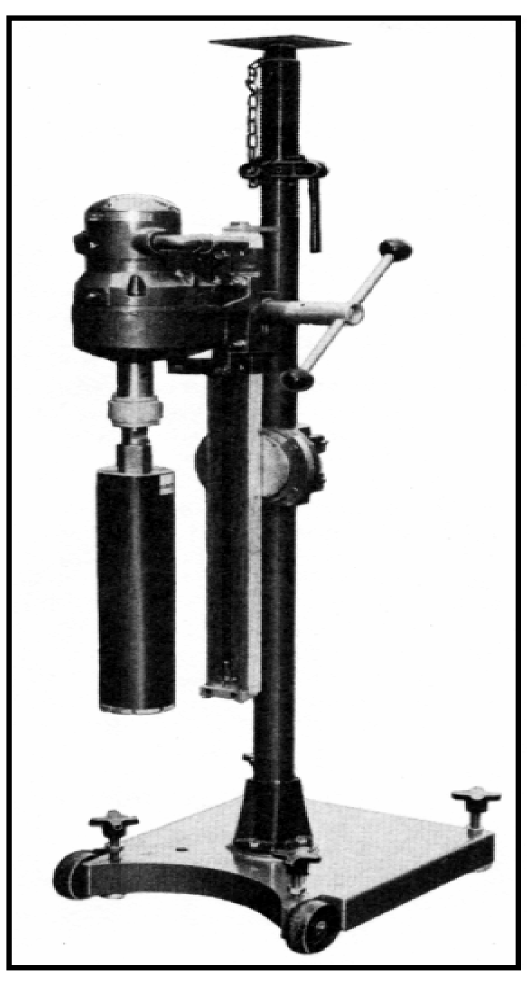
شكل (٩-١٥) قياس معاير مرونة الخرسانة بإستخدام الموجات فوق الصوتية.

٩-٤ إختبار القلب الخرسانى Core Test

يعتبر هذا الإختبار إختباراً نصف متلف ويستخدم لتعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية وواقعية ويكون ذلك بواسطة إختبار عينة منتزعة (القلب الخرسانى) من بعض الأعضاء الإنشائية الأساسية (عادة الأعمدة - الكمرات).

الجهاز عبارة عن مثقاب به آلة ثقب إسطوانية هى عبارة عن إسطوانات بأقطار مختلفة مزودة بفدية من سبيكة خاصة مخلوطة ببرادة الماس (ألماظة) ولها خاصية القطع فى الخرسانة اثناء دوران الإسطوانة بواسطة الجهاز الذى يعمل بالضغط الهيدروليكى (شكل٩-١٦).





شكل (٩-١٦) جهاز القلب الخرسانى و أخذ عينة أفقية من حائط.

حجم العـينة Size of Core: يعتبر قطر العينة ١٥٠ مم هو القياسى إذا كانت الخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء إنتزاع العينة من الخرسانة. وقطر ١٠٠ مم هو الشائع الإستخدام. ولايقل قطر العينة عن ثلاثة أضعاف أكبر مقاس للركام بها. وتكون نسبة طول العينة إلى قطرها فى المدى من ١ إلى ٢ والنسبة المفضلة تكون من ١ إلى ١,٢ وعموماً فإن طول العينة يلزم أن لا يقل عن قطرها.

إستخراج العينة Drilling: يجب أن تستخرج العينة عمودية على السطح الموجود فيه ويدون رقم العينة ومكانها وإتجاه أخذها مباشرة. ويجب أن يملء مكان العينات المأخوذة وفقاً للأسس الفنية بمونة غير قابلة للإنكماش وذات مقاومة عالية لتجنب حدوث أى ضعف للعنصر تحت الإختبار. شكل (٩-١٧) يبين شكل مجموعة من القلوب الخرسانية المستخرجة قبل إعدادها للاختبار.

فحص العينة Examination: تفحص العينات لتحديد الآتى :

- درجة دمك الخرسانة .... وتصنف جيد / متوسط / ضعيف.
- حجم الفراغات والتعشيش وأماكن وجودها وإتجاهها وتحديد أسبابها وهل نقص فى المونة أو نقص فى الدمك أو أنفصال حبيبى. ويتم توصيف حجم الفراغات كالآتى:
  صغيرة من ٠,٥ إلى ٣ مم ، متوسطة من ٣ إلى ٦ مم ، كبيرة إذا كان أكبر من ٦ مم.

- وصف الركام بالعينة (الحجم و النوع و حالة السطح و الشكل).
- توزيع الحبيبات الخرسانية.
- تركيز الركام بالنسبة للمونة.

قياس العينة Measurement:

- القطر المتوسط: يؤخذ القطر عبارة عن متوسط لعدد ٦ قراءات كل قرائتين عند مستوى واحد ومتعامدتين. إحدى القرائتين فى المنتصف وواحدة عند ١/٤ الإرتفاع من الناحيتين. وعموماً لاتختبر العينة التى يزيد التفاوت فى القطر لها عن ٣% أو التى يقل طولها عن قطرها.

- الطول: يقاس أكبر وأقل طول للعينه بعد إستخراجها و يقاس الطول بعد وضع الغطاء Cap على نهايتى العينه إلى أقرب ٥ مم. وفى العينات التى يزيد طولها عن ضعف قطرها فتقطع الزيادة فى الطول عمودياً على محور العينة قبل إختبارها وقبل تجهيز نهايتيها.

- التسليح Reinforcement: يقاس موضع أى حديد تسليح موجود بالعينة وذلك بقياس المسافة من محور السيخ حتى النهاية القريبة للعينه حتى أقرب ٢مم. وإذا وجد أكثر من سيخ فتحدد المسافات بين أسياخ حديد التسليح.

تجهيز سطح العينة (نهايتى القلب) End Preparation

- يتم تجهيز السطح حتى يكون مستوياً تماماً وأفقياً لإستخدامه فى ماكينة الإختبار ويتم ذلك أما بنشر نهايتى العينة أو تجليخهما أو بعمل غطاء Cap بسمك قليل لايزيد عن ١٠مم كما بشكل (٩-١٨) (يلاحظ أن لا ينكسر قبل إنهيار العينه عند إختبارها للضغط) بإحدى المون الآتية:

١- مونة الأسمنت والرمل بنسبة ٣ إلى ١

تتكون هذه المونة من ثلاثة أجزاء من الأسمنت الألومينى أو الأسمنت فائق النعومة مع جزء واحد من الرمل الناعم الذى يمر من منخل ٠,٣ مم. تصب هذه المونة بوضع حلقة مستوية وأفقية حول العينة ثم تصب المونة ويسوى سطحها ويوضع فوقها قطعة مسطحة من الزجاج المستوى (سمك ٨مم) أو من الحديد بعد دهانها بالزيت وفى اليوم الثانى تكرر العملية للطرف الآخر من العينة.

٢- مونة الكبريت والرمل بنسبة ١ إلى ١

تتكون هذه المونة من جزئين متساويين بالوزن من الكبريت والرمل الناعم الذى يمر من منخل ٠,٣ مم و يحجز على منخل ٠,١٥ مم وذلك مع نسبة من الكربون الأسود مقدارها ١ : ٢ %. يسخن الخليط لدرجة حرارة ١٣٠ - ١٥٠ م ه ثم تترك لتبرد ببطء مع التقليب المستمر. يصب الخليط على مستوى أفقى من الحديد الأملس المدهون سطحه بزيت البرافين. توضع العينة فوق المونة رأسيا تماما بعد عدة ثوان يزال الجزء الزائد حول العينة من المونة ثم ترفع العينة وتكرر العملية بسرعة للطرف الآخر.



شكل (٩-١٧) مجموعة من القلوب الخرسانية المستخرجة.



شكل (٩-١٨) عمل غطاء لأطراف القلب الخرسانى.

إجراء الإختبار

- يتم إجراء الإختبار مباشرة بعد إستخراج العينات من الماء (أى بعد وضعها فى الماء لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة) وهى مبللة.
- ينظف مكان العينة بالماكينة وأسطح العينة من أى أتربة أو عوالق.
- توضع العينة رأسياً تماماً فى محور الماكينة.
- لا توضع أى قطع مساعدة أعلى العينة.
- يؤثر الحمل على العينة بمعدل منتظم يتراوح بين ٢ : ٤ كج/سم^{٢}/ثانية ويستمر حتى حدوث الكسر.
- يتم عمل وصف لحالة الإنهيار.

حساب النتائج

يتم حساب مقاومة الضغط لعينات القلب الخرسانى و تقديرها لنتائج مكعبات الموقع كما جاء بالمواصفات القياسية المصرية رقم ١٦٥٨-١٩٩٥ كما يلى:

أولاً: تحسب مقاومة الضغط لكل عينة بقسمة أقصى حمل تتحمله العينة على مساحة مقطع العينة وتقرب النتيجة إلى أقرب ٥ كج/سم٢.

$$f_c = P / A$$

حيث A هى المساحة المحسوبة من القطر المتوسط ، P هى حمل الكسر.

ثانياً: يتم حساب الإجهاد المقدر لنتائج مكعبات الموقع وذلك بعمل التصحيح الخاص بالتأثيرات الآتية:

- تأثير نسبة (الإرتفاع/القطر).
- تأثير إتجاه أخذ العينة بالنسبة لإتجاه الصب.
- تأثير وجود حديد تسليح بالعينة.

حيث نحصل على الإجهاد المقدر لنتائج مكعبات الموقع وذلك بضرب قيمة f_c المحسوبة سابقاً فى معاملى التصحيح (أ) ، (ب) أو أحدهما حسب ما تتطلبه حالة القلب الخرسانى المختبر كما سيتم توضيحه فيما بعد.

تأثير كل من نسبة (الإرتفاع/القطر) ، وإتجاه أخذ العينة

$$\text{عامل التصحيح (أ)} = \frac{\text{د}}{\text{١,٥ + (ق/ع)}}$$

حيث (د) مقدار ثابت
= ٢,٥٠ للعينات التى تقطع ويكون محورها عمودى على إتجاه الصب مثل الأعمدة والحوائط.
= ٢,٣٠ للعينات التى تقطع ويكون محورها فى إتجاه الصب مثل البلاطات والأرضيات.
(ق/ع) هى النسبة بين قطر العينة و إرتفاعها.

والجدول الآتى يوضح بعض القيم لعامل التصحيح (أ).

نسبة إرتفاع العينة على قطرها ١/ (ق/ع)	عامل التصحيح (أ)	
	أعمدة وحوائط	بلاطات وأرضيات
١	١,٠	٠,٩٢
١,٢	١,٠٧١	٠,٩٨
١,٤	١,١٢٩	١,٠٤
١,٦	١,١٧٦	١,٠٨
١,٨	١,٢١٦	١,١٢
٢	١,٢٥٠	١,١٥

تأثير وجود حديد تسليح عمودى على محور العينة

١ـ حالة وجود سيخ واحد:

$$\text{عامل التصحيح (ب)} = ١,٠ + ١,٥ \frac{ق_ح \times س}{ق \times ع}$$

حيث:

$ق_ح$ هى قطر سيخ الحديد.
س المسافة بين محور سيخ الحديد والنهاية القريبة للعينة.
ق قطر عينة القلب الخرسانى.
ع إرتفاع عينة القلب الخرسانى بعد إعداد النهايات.

٢ـ حالة وجود سيخين متقاربين:

العينات التى تحتوى على سيخين لا تزيد المسافة بينهما على قطر السيخ الأكبر فتطبق المعادلة السابقة لحساب عامل التصحيح (ب) مع الأخذ فى الإعتبار أكبر قيمة (ق ح × س) لأيهما.

٣ـ حالة وجود سيخين متباعدين:

العينات التى تحتوى على سيخين تزيد المسافة بينهما على قطر السيخ الأكبر فيكون التأثير المجمع لهما كالآتى:

$$\text{عامل التصحيح (ب)} = ١,٠ + ١,٥ \frac{\text{مجـ } (ق_ح \times س)}{ق \times ع}$$

والجدول الآتى يوضح بعض القيم لعامل التصحيح (ب) فى حالة وجود سيخ واحد بعينة قلب قطرها ١٠٠ مم وإرتفاعها ١٢٠ مم.

قطر السيخ (مم)	المسافة بين محور السيخ والنهاية القريبة للعينة (مم)				
	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	١٠٠
١٢	١,٠٣٠	١,٠٦٠	١,٠٩٠	١,١٢٠	١,١٥٠
١٦	١,٠٤٠	١,٠٨٠	١,١٢٠	١,١٦٠	١,٢٠٠
١٩	١,٠٤٨	١,٠٩٥	١,١٤٣	١,١٩٠	١,٢٣٨
٢٢	١,٠٥٥	١,١١٠	١,١٦٥	١,٢٢٠	١,٢٧٥
٢٥	١,٠٦٣	١,١٢٥	١,١٨٨	١,٢٥٠	١,٣١٣

تقرير الإختبار

يجب أن يشتمل التقرير الخاص بنتائج القلب الخرسانى على الآتى:

- تاريخ أخذ العينة.
- عمر الخرسانة (إذا أمكن).
- القطر المتوسط للعينة.
- أكبر وأقل طول للعينة المستخرجة.
- الطول بعد عمل الغطاء.
- طريقة عمل الغطاء.
- مقاومة الضغط المقاسة.
- معامل التصحيح للعينات الإسطوانية.
- مقاومة الضغط المقدرة للمكعب.
- شكل الخرسانة وشكل الكسر الناتج.
- وصف نوع الركام.
- توزيع المواد بالخلطه الخرسانية.
- درجة دمك الخرسانة.
- صورة أو صور للعينات ترفق مع التقرير.
- حجم ومقاس حديد التسليح وموضعه إن وجد.

القبـــول

- *أولاً يتم عمل ثلاث عينات للخرسانة المراد إختبارها.*
- *تعتبر الخرسانة مقبولة إذا كان متوسط المقاومة المحسوبة لثلاثة قلوب لا يقل عن ٧٥٪ من المقاومة المطلوبة.*
- *ويشترط أيضاً أن لا تقل المقاومة المحسوبة لأية عينة عن ٦٥٪ من المقاومة المطلوبة.*
- *إذا لم يتحقق ذلك يجرى إختبار تحميل.*

٩-٥ إختبار التحميل Loading Test

الغرض من الإختبار هو إختبار كفاءة العنصر الإنشائى فى تحمل الأحمال التصميمية التى صُمم من أجلها. ويجرى الإختبار على الكمرات أو البلاطات أو الأسقف أو المنشأ ككل. أما العناصر الغير معرضه لعزوم إنحناء مثل الأعمدة أو القواعد يتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائى ولا يجوز عمل إختبارات تحميل لها.

❑ متى يتم إجراء هذا الإختبار ؟

- إذا كان هناك شك فى كفاءة المنشأ.
- إذا كانت هناك أسباب تدعو إلى ذلك مثل وجود هبوط غير منتظم فى أجزاء من المنشأ.
- إذا فشلت نتائج القلب الخرسانى.
- إذا نُص على ذلك فى المواصفات والإشتراطات الخاصة بالمشروع.

ولا يتم إجراء الإختبار قبل مرور ستة أسابيع من إبتداء تصلد الخرسانة.

❑ القياسات المطلوبة:

- يقاس سهم الإنحناء قبل إجراء الإختبار.
- يقاس سهم الإنحناء أثناء التحميل التدريجى
- يقاس سهم الإنحناء بعد إجراء التحميل ومرور ٢٤ ساعة.
- يقاس عرض الشروخ بعد التحميل.
- يقاس سهم الإنحناء بعد ٢٤ ساعة من رفع الأحمال.

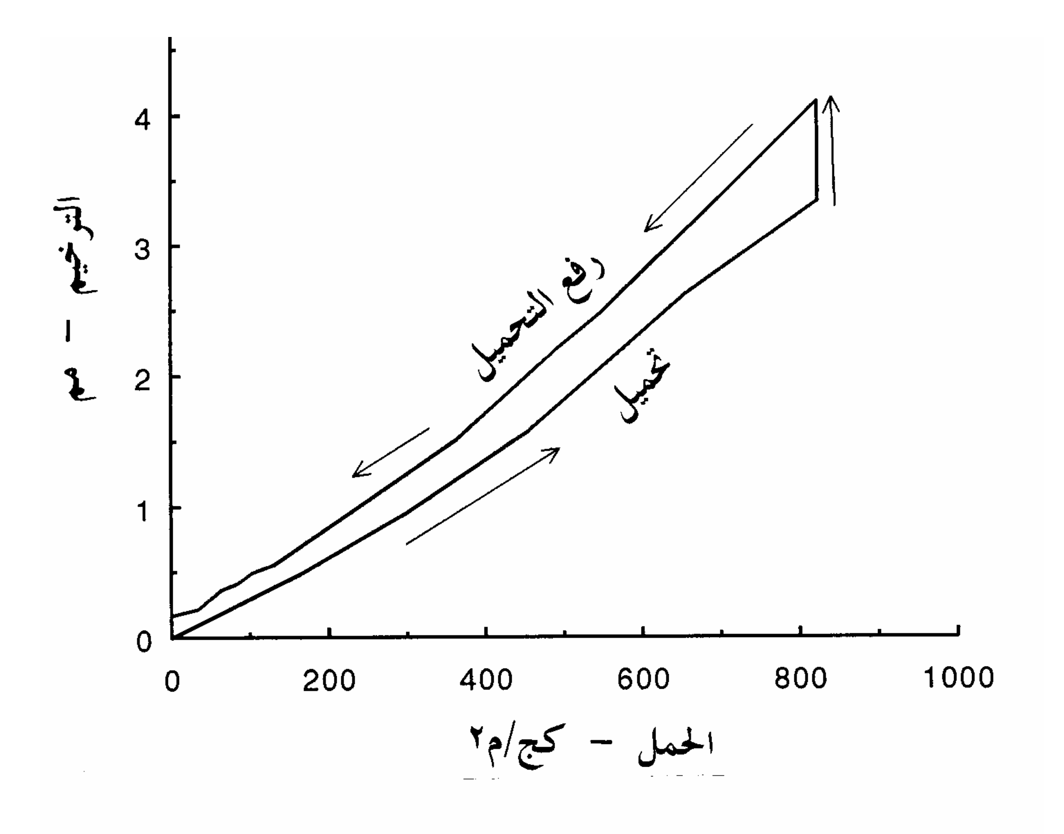
ويمكن رسم العلاقات بين الحمل وسهم الإنحناء وكذلك العلاقة بين الزمن وسهم الإنحناء كما بشكل (٩-١٩)

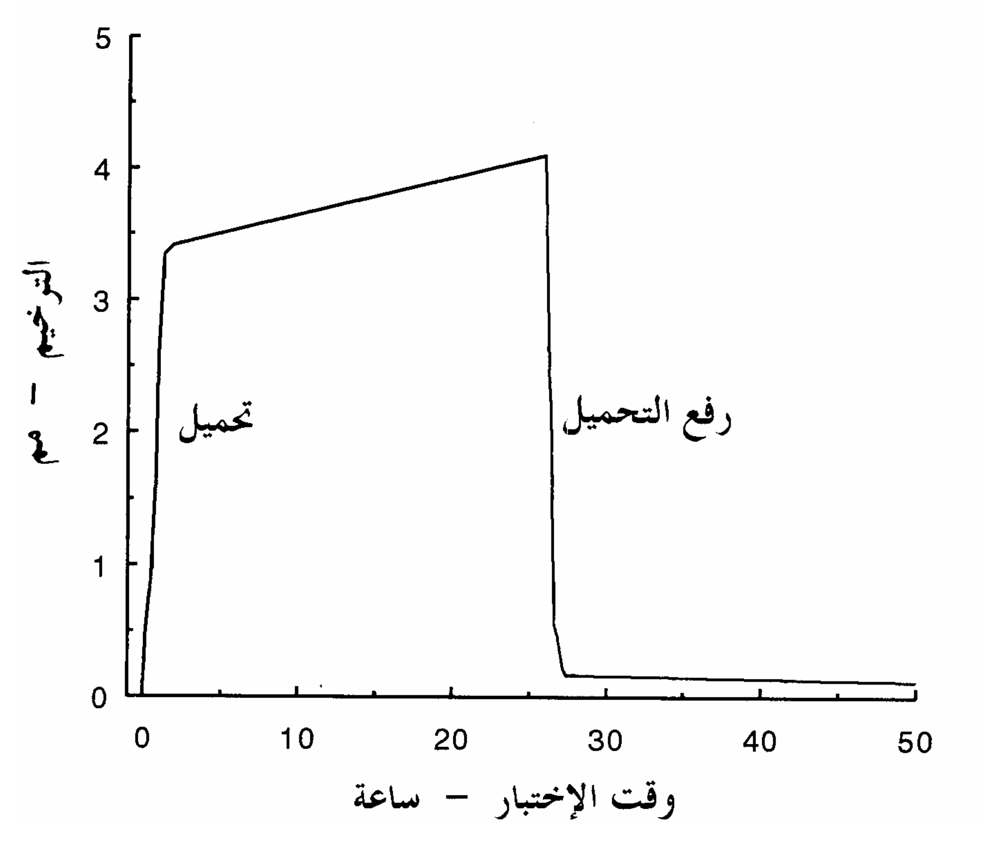
❑ الأحمـــال:

يعرض جزء المنشأ المراد إختباره لحمل مقداره:

٠,٨٥ [١,٤ (الأحمال الدائمة) + ١,٦ (الأحمال الحية)]

مع مراعاة إجراء التحميل على أربعة مراحل متساوية تقريباً بدون إحداث أى صدمات أثناء التحميل. وتشمل الأحمال الدائمة وزن الأرضيات و القواطيع والبياض .. إلخ ، ولاتشمل الأحمال الموجودة فعلاً وقت إجراء الإختبار مثل الوزن الذاتى للبلاطة أو ما شابه. ويتم تحميل العنصر الإنشائى المطلوب إختباره والعناصر المجاورة له بحيث نحصل على أحرج وضع لتحميل هذا العنصر Critical Load.





شكل (٩-١٩) العلاقة بين الحمل - سهم الإنحناء - الزمن لإختبار التحميل.

❑ الإحتياطــات أثناء التحميل:

توضع قوائم مثبتة تحت الأجزاء المحملة بشرط ترك مسافة تسمح بالإنحناء للجزء موضوع الإختبار وأن تكون بالعدد الكافى لتتحمل الحمل بأكمله.

❑ شروط القبــول:

يعتبر المنشأ قد إستوفى شروط الأمان إذا تحقق ما يلى :

١- إذا كانت أكبر قيمة لسهم الإنحناء δmax فى العنصر المختبر أقل من أو تساوى:

$$\delta_{max} \leq L_t^2 / 20000\ t \quad .... \text{ mm}$$

حيث L_t = البحر مقاس بالمليمتر ، t سمك العنصر بالمليمتر.

* تؤخذ L_t فى حالة الكوابيل بضعف المسافه لبحر الكابولى.

* تؤخذ L_t هى طول الإتجاه الأصغر فى حالة البلاطات اللاكمرية أو ذات الإتجاهين.

٢- إذا زاد سهم الإنحناء الأقصى عن القيمة المحسوبة بالمعادلة السابقة فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الإنحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥% من قيمة سهم الإنحناء الأقصى - وعرض الشروخ فى حدود المسموح به.

- إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى فيجب إعادة الإختبار بنفس الطريقة السابقة بعد مدة لا تقل عن ٧٢ ساعة على رفع وإزالة أحمال التجربة الأولى.

- إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى الذى ظهر أثناء الإختبار الثانى أو أن تكون الشروخ أكبر من المسموح به يعتبر المنشأ غير مقبول.

إذا ظهر على أى جزء من المنشأ أثناء الإختبار أو بعد رفع الحمل أى شيء من الآتى:

١- علامة من علامات الضعف.
٢- سهم إنحناء غير منتظر.
٣- خطأ فى طريقة الإنشاء.
٤- إتساع أكبر غير منتظر للشروخ.

فيتبع المصمم الحلول التالية

١- وضع ركائز إضافية إن أمكن.
٢- عمل تخفيض فى الأحمال الحية.
٣- تحسين توزيع الأحمال.
٤- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.
٥- عمل تقويات للعناصر الأساسية إن أمكن.

❑ رفض الأعمال

يعتبر المنشأ غير صالح للإستعمال للغرض الذى أنشئ من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات غير كافيه.

٩-٦ عدم تحقيق الخرسانة لمتطلبات التصميم

فى حالة عدم تحقيق مقاومة الخرسانة لمتطلبات المشروع سواء للعينات المأخوذة من الخرسانة أثناء التنفيذ مثل المكعبات أو للإختبارات غير المتلفة فإنه يتم الرجوع إلى مصمم المشروع أو الإستشارى لعمل التحليل والمراجعة الإنشائية على ضوء المقاومة الفعلية للخرسانة المنفذة بالمنشأ مع الأخذ فى الإعتبار الآتى:

١- إذا تحقق من خلال التحليل الإنشائى أن المنشأ بجميع عناصره يمكنه تحمل الأحمال المصمم عليها وأن أدائيته وسلوك عناصره تحت هذه الأحمال وبحالة خرسانته الراهنة مطابقة للحدود المنصوص عليها بكود الممارسة المعتمد فإنه يمكن إعداد تقرير أمان وسلام للمنشأ. هذا ويمكن إضافة بنود خاصه بحماية الخرسانة ومتانتها قد يراها الإستشارى للحفاظ على المنشأ مع الزمن مع تحميل المقاول تكاليف هذه الأعمال المستجدة وكذلك التعويض المالى المناسب لعدم تحقيقه متطلبات العقد.

٢- إذا لم يتحقق للمنشأ من خلال التحليل الإنشائى الكامل وعلى ضوء حالة الخرسانات المنفذة تحمله للأحمال المصمم عليها نظراً لضعف مقاومة الخرسانة فإنه يمكن للإستشارى دراسة الحلول الآتية:

أ- وضع ركائز إضافية إن أمكن بحيث لا تؤثر تأثيراً غير مقبول على الناحية المعمارية أو الجمالية أو الوظيفية للمنشأ.

ب- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميته وغيرها وتحسين توزيع الأحمال وتعديل ترتيب الأحمال المركزة.

ويعتبر المنشأ غير صالح للإستعمال للغرض المصمم من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات لا تزال غير كافية.

٩-٧ تقارير سلامة وأمان المنشآت

تتحقق سلامة وأمان المنشأ بالدراسة والإختبارات للتربة المقام عليها وبالتصميم الجيد آخذين فى الإعتبار عناصر الحماية طبقاً للظروف المحيطة وظروف الإستخدام وبإستخدام مواد مطابقة للمواصفات القياسية وبالتنفيذ السليم فى جميع مراحله من تشوين ومعايرة وخلط ونقل وصب ودمك ومعالجة ومن شدات قوية وسليمة تحقق الأبعاد للعناصر المختلفة من توزيع للتسليح بالأقطار والأطوال والأشكال المصمم عليها المنشأ كما تتحقق السلامة من عدم تغيير الإستخدام المصمم له المنشأ أو عمل تعديلات وتعليات غير مدروسة أو من عدم غياب الصيانة أو قصورها وكذلك إذا اخذت الكوارث الطبيعية فى الإعتبار.

أسباب طلب التقرير

عادة يطلب تقرير عن سلامة وأمان منشأ من جهة إستشارية فى حالات أكثرها شيوعاً الآتى:

١- تسليم منشأ قائم من جهة قامت بالتنفيذ الى جهة لم تشرف على التنفيذ.

٢- عند الرغبة فى أعمال التعليات.

٣- فى حالة حدوث عيوب تشير إلى عدم الأمان الإنشائى للمبنى سواء على هيئة ميل للمبنى أو هبوط أو تزحلق أو إلتواء أو شروخ بالعناصر الإنشائية أو الحوائط لها دلالات تشير إلى عدم أمان المنشأ.

٤- فى حالة حدوث كوارث غير متوقعة كالزلازل يواكبها ظهور عيوب بالمنشأ.

هذا وتجدر الإشارة إلى أنه فى حالة إشراف جهة معتمدة على تنفيذ مبنى فى جميع مراحلة من جسات وأساسات وشدات وتسليح وإشراف على الصب ولكن عنصر القصور يكون فقط فى عدم وجود نتائج لمقاومة الخرسانة أو عند عدم تحقيق نتائج الخرسانة لمتطلبات المصمم فإن المطلوب هو عمل الإختبارات غير المتلفة لتحديد مقاومة الخرسانة إستعواضاً للمقاومات غير المتوفرة للخرسانة وتصبح هذه النتائج ضمن المستندات المتكاملة للإشراف على تنفيذ المنشأ والتى يمكن للقائمين على الإشراف الكامل تقديم تقرير لسلامة وأمان المنشأ على ضوئها .

محتويات التقـريـــر

عند طلب إعداد تقرير عن سلامة وأمان منشأ قائم للإستخدام المصمم عليه وللظروف المحيطة من جهة إستشارية فيجب أن يشتمل التقرير على الآتى:

١- توصيف المبنى توصيفاً كاملاً معمارياً وإنشائياً وكذلك المنطقة المحيطة.

٢- تحديد مجال إستخدام المنشأ.

٣- المستندات التى تم الرجوع اليها (لوحات و تقارير تربة - تقارير سابقة - مستندات تنفيذ).

٤- حصيلة المناقشات مع الجهة الطالبة والمستخدمين وغيرهم.

٥- رفع وتسجيل دقيق مدعم بكروكيات وصور إن أمكن للعيوب الظاهرة بالمبنى ككل وكذلك بجميع وحداته وعناصره على كامل إرتفاعه شاملة الأساسات.

٦- مطابقة ماتم تنفيذه مع اللوحات الإنشائية والمعمارية وغيرها ، وفى حالة عدم توفر هذه اللوحات تتم عملية رفع دقيق للمبنى إنشائياً ومعمارياً.

٧- المراجعة الإنشائية للتصميم من واقع اللوحات كمرحلة أولى يليها المراجعة الإنشائية على ضوء ماتسفر عنه الإختبارات.

٨- إختبارات غير متلفة للخرسانة لتحديد مقاومتها للضغط وذلك بأجهزة الإختبارات غير المتلفة بعد عمل المعايرات اللازمة لها وبناءاً على مواصفاتها القياسية وأن يتم ذلك بواسطة متخصصين ذوى خبرة وتفهم لطبيعة إستخدام هذه الأجهزة والعوامل المؤثرة علىنتائجها وكيفية تحليل هذه النتائج.

٩- يمكن أخذ عينات من الخرسانة وتحليلها كيميائياً لتحديد نسب الأملاح الضارة بها ومطابقتها بالحدود المسموح بها بالكودات وهذه الإختبارات الكيميائية تمثل أهمية كبيرة فى متانة المنشآت.

١٠- الكشف عن صلب التسليح لتحديد مدى مطابقته للوحات من حيث وضعه وأقطاره وأنواعه وحالة الصدأ به إذا وجدت والغطاء الخرسانى.

١١- عمل جسات للتربة لتحديد حالتها وقت المعاينة وخواصها وتحملها وكذلك دراسة تربة الإحلال إن وجدت.

١٢- قد يتم عمليات تحميل لبعض عناصر المنشأ مثل البلاطات والكمرات والكوابيل إذا رأى الإستشارى ذلك.

****

الباب العاشر

الإنكماش و الزحف
Shrinkage & Creep

١٠-١ الإنكماش Shrinkage

تعريف

الانكماش هو خاصية من خواص الخرسانة التى تتصلد فى الهواء. ولايسبب الإنكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيداً على الحركة حيث يسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدى إلى تشرخها ويمكن التقليل من الآثار الضارة للإنكماش عن طريق:

أ - المعالجة الصحيحة والمبكرة للخرسانة	Effective Curing
ب- عمل وصلات حركة	Movement Joints
ج- وضع أسياخ تسليح لمقاومة الإنكماش	Shrinkage Reinforcements

أسباب حدوث الانكماش

يحدث الانكماش فى الخرسانة نتيجة:

أ- هبوط الأجزاء الصلبة فى الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة مما يسبب ما يعرف بإسم الإنكماش اللدن.

ب- الإتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء يؤدى إلى حدوث الإنكماش الذاتى.

ج - جفاف الخرسانة نتيجة فقد الماء يسبب حدوث إنكماش الجفاف.

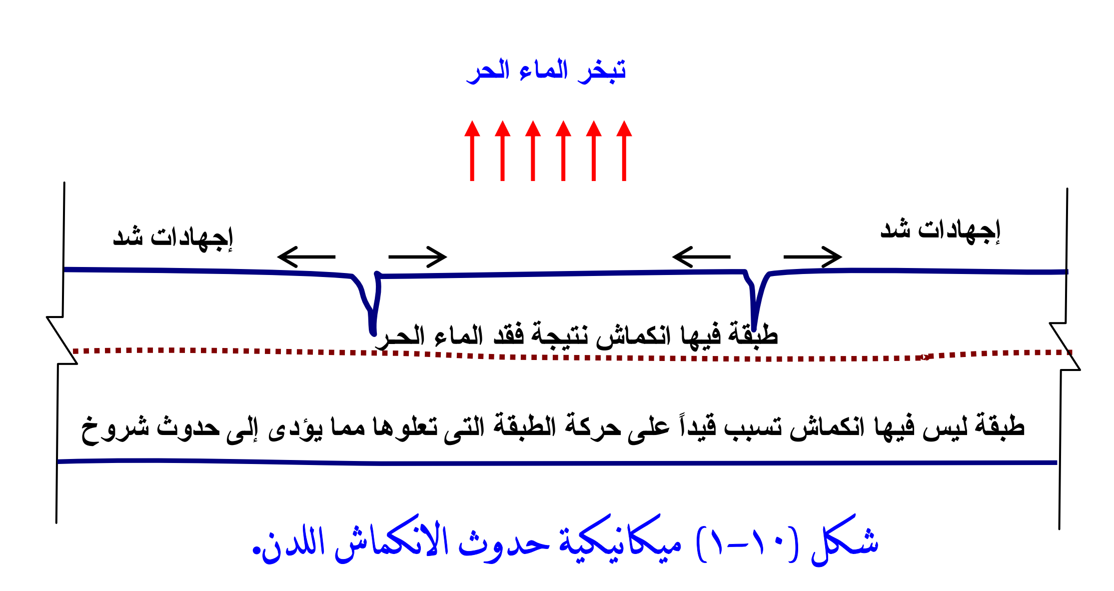
أنواع الانكماش

يوجد ثلاثة أنواع من الإنكماش هى:

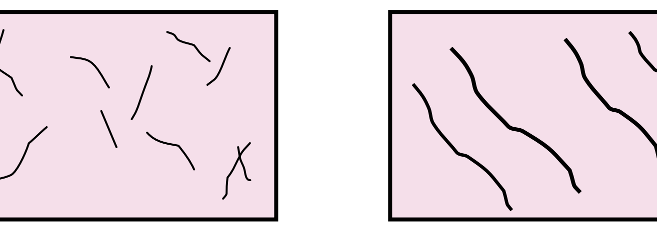
أ- الانكماش اللدن	Plastic Shrinkage
ب- الإنكماش الذاتى	Autogenous Shrinkage
ج- الإنكماش بالجفاف	Drying Shrinkage

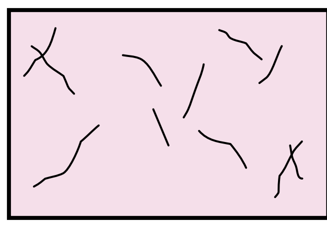
أولاً: الإنكماش اللدن Plastic Shrinkage

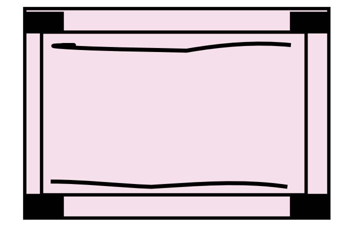
يحدث الانكماش اللدن قبل تصلد الخرسانة خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة وسببه هو فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة (الركام) إلى أسفل مما يؤدى إلى صعود الماء إلى أعلى وتبخره. فعندما يكون معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة أسرع من معدل الإدماء (نزوح الماء إلى سطح الخرسانة) يحدث الإنكماش اللدن (شكل ١٠-١). ولذلك فإن الإنكماش اللدن يُلاحظ أكثر فى البلاطات والأعضاء ذات المساحه السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو الرياح. ويؤدى هذا النوع من الإنكماش إلى حدوث شروخ سطحية بالخرسانة. ويمكن منع شروخ الإنكماش اللدن بتقليل الفاقد من الماء السطحى عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة. وتشرخ الخرسانة اللدنة عادة يأخذ إحدى صور ثلاث كما فى شكل (١٠-٢).



شكل (١٠-١) ميكانيكية حدوث الانكماش اللدن.







شروخ قطرية مائلة بالنسبة لحروف البلاطة وتكون المسافة بين هذه الشروخ من ٢٠ إلى ٢٠٠ سم.

شروخ موزعة توزيعاً غير منتظم ولا تصل إلى الحروف الحرة للبلاطة.

شروخ تتبع شكل توزيع حديد لتسليح أو التغير فى عمق القطاع الخرسانى.

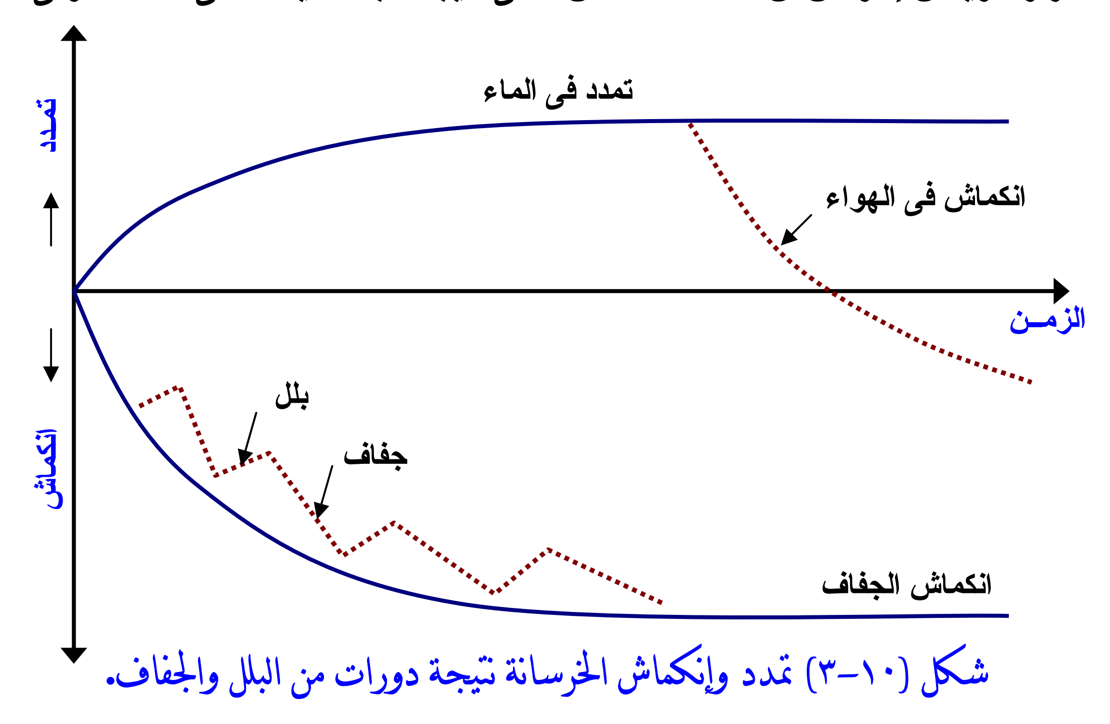
شكل (١٠-٢) أشكال الإنكماش اللدن.

ثانياً: الإنكماش الذاتي Autogenous Shrinkage

عندما تبدأ عملية الإماهة Hydration بين الأسمنت والماء يحدث نقص فى حجم المونة لأن المونة المتصلدة حجمها أقل من مجموع حجمى الماء والأسمنت فى الخلطة مما يؤدى إلى إنكماش الخرسانة الداخلية وهو ما يعرف بالإنكماش الذاتى لأنه يحدث ذاتياً نتيجة الإتحاد الكيميائى بين الأسمنت والماء. أما إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخل فى التفاعل يتم إستعاضته من الماء الخارجى وتمتص العجينة الأسمنتية ماءً زائداً مما يؤدى إلى زيادة طفيفة فى حجم الخرسانة وليس إنكماشاً كما فى شكل (١٠-٣). أما الخرسانة التى تعالج فى الهواء أو تترك بدون معالجة فلايتم إستعاضة الماء الداخل فى التفاعل ولكن على العكس يُسحب الماء من العجينة المتصلدة ويحدث إنكماشاً إضافياً هو إنكماش الجفاف. والإنكماش الذاتى يتأثر بعدة عوامل منها : التركيب الكيميائى للأسمنت - كمية الماء فى الخلطة ودرجة الحرارة وقد تصل قيمة الإنكماش الذاتى إلى ١٠٠×١٠^{-٦} (٠,١مم لكل متر) ويحدث ٧٥ % منه فى الشهور الثلاثة الأولى من عمر الخرسانة.

ثالثا: إنكماش الجفاف Drying Shrinkage

عندما تتعرض الخرسانة المتصلدة - المعالجة فى الماء - للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود فى الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ فى الإنكماش إلا إذا إستمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلدة ذاتها وهو ما يعرف بالإنكماش نتيجة الجفاف وقد تصل قيمة هذا الإنكماش إلى ١٥٠٠×١٠^{-٦} ومن أهم وظائف الركام فى الخلطة تقليل إنكماش مونة الأسمنت. والإنكماش بالجفاف يبدأ بمعدلات عالية ويستمر لمدة طويلة ولكن بمعدل يتناقص بإستمرار. ويمكن إفتراض أن نصف الانكماش الكلى نتيجة الجفاف يحدث فى السنة الأولى.



شكل (١٠-٣) تمدد وإنكماش الخرسانة نتيجة دورات من البلل والجفاف.

العوامل التى تؤثر على إنكماش الجفاف

١- مكونات الخلطة

بصفة عامة فإن الإنكماش يتناسب طردياً مع كمية الماء بالخلطة ويتناسب عكسياً مع كمية الركام بها كما بشكل (١٠-٤).

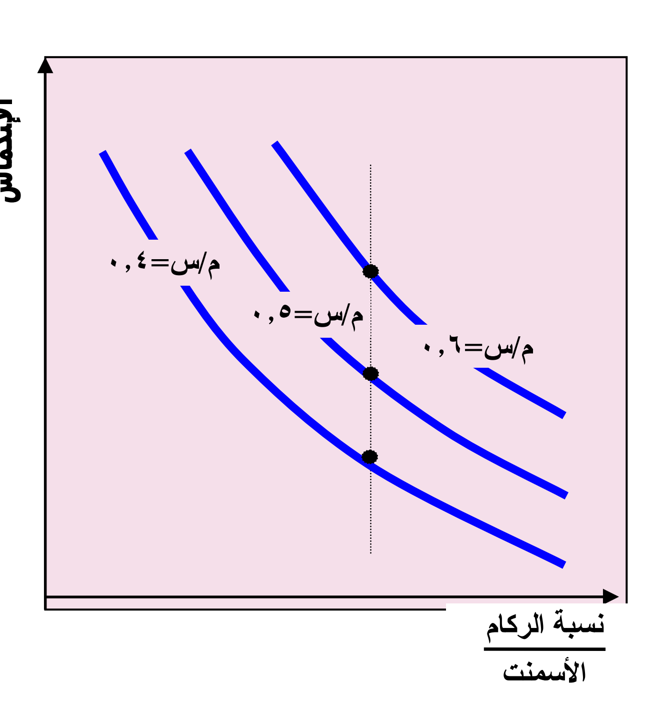
المـــاء: يحدث الإنكماش نتيجة فقد الماء إلى الجو المحيط. فكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الإنكماش أثناء الجفاف.

الأسمنت: أهمية الأسمنت بالنسبة للإنكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء فى الخلطة.

الركام: كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الإنكماش لمونة الأسمنت. كذلك فإن إستعمال الركام ذى مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء فى الخلطة وبالتالى يعمل على تقليل الإنكماش.

٢- معالجة الخرسانة

تعمل معالجة الخرسانة على تقليل الفاقد الحرارى وبالتالى تقليل فروق الحرارة فى الأعضاء الضخمة كما أنها فى نفس الوقت تقلل الفاقد من ماء الخرسانة وبالتالى تبطئ من معدل الإنكماش فى فترة المعالجة مما يقلل من إحتمالات التشرخ.



شكل (١٠-٤) تأثير الماء والركام على الإنكماش.

٣- حجم وشكل العضو الخرسانى

حيث أن الجفاف (فقد الرطوبة) يكون من سطح العينة فإن ذلك يعنى أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل إنكماش العضو. فالعضو الضخم السميك يستطيع الإحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التى تستطيع بلاطة رفيعة الإحتفاظ بها. وبالتالى يكون تأثير الإنكماش كبيراً وخطيراً فى حالة البلاطات وخاصة الرقيقة منها. ويمكن التعبير عن حجم العضو الخرسانى ومساحته السطحية بما يسمى بالبعد الإعتبارى للقطاع B الذى يقدر كما يلى:

$$B = 2A_c / P_c$$

حيث:

B = البعد الإعتبارى للقطاع - مم

Ac = مساحة المقطع الخرسانى - مم٢.

Pc = محيط المقطع الخرسانى المعرض للجفاف - مم

جدول (١٠-١) يوضح بعض القيم الإسترشادية لإنفعال إنكماش الجفاف وذلك فى حدود درجة رطوبة نسبية بين ٤٠ و ٨٥%.

جدول (١٠-١) قيم إسترشادية لإنفعال إنكماش الجفاف (مليمتر/ متر).

حـــالة الجـــو	جو جاف (الرطوبة حوالى ٥٥%)			جو رطب (الرطوبة حوالى ٧٥%)		
العمر المعتبر عنده الإنكماش	البعد الإعتبارى للقطاع B - مم			البعد الإعتبارى للقطاع B - مم		
	$B \geq 600$	$600>B>200$	$B \leq 200$	$B \geq 600$	$600>B>200$	$B \leq 200$
٣ - ٧ أيام	٠,٣١	٠,٣٨	٠,٤٣	٠,٢١	٠,٢٣	٠,٢٦
٧ - ٦٠ يوم	٠,٣٠	٠,٣١	٠,٣٢	٠,٢١	٠,٢٢	٠,٢٣
أكثر من ٦٠ يوم	٠,٢٨	٠,٢٥	٠,١٩	٠,٢٠	٠,١٩	٠,١٦

٤- درجة الحرارة والرطوبة

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة مما يؤدى إلى زيادة الإنكماش ونفس التأثير يحدث عند زيادة درجة حرارة الجو.

٥- التسليح

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من إنكماش الخرسانة العادية نظراً لأن صلب التسليح يسبب قيداً على الحركة. وعلى ذلك فوظيفة أسياخ الإنكماش ليست فقط مقاومة إجهادات الشد الناتجة من الإنكماش وإنما تقليل الإنكماش نفسه كذلك.

اختبار التغير الحجمى للخرسانة بالجفاف والرطوبة
Drying Shrinkage & Moisture Movement Tests

يجرى هذا الاختبار لتعيين قيمة التغير فى طول العينة الخرسانية نتيجة تعرضها للزيادة فى الحجم بتأثير الرطوبة أو للنقص فى الحجم بتأثير الإنكماش بالجفاف.

عينات الإختبار: تستخدم عينات منشورية بطول يتراوح من ١٥ إلى ٣٠ سم ومقطع مستعرض حوالى٥×٥ سم أو ٧,٥ ×٧,٥ سم ويثبت فى منتصف المقطع عند كل من النهايتين على محور العينة كرة من الصلب لإمكان إجراء عملية قياس الطول بدقة بين سطحى الكرتين.

أولاً: إختبار الإنكماش بالجفاف Drying Shrinkage

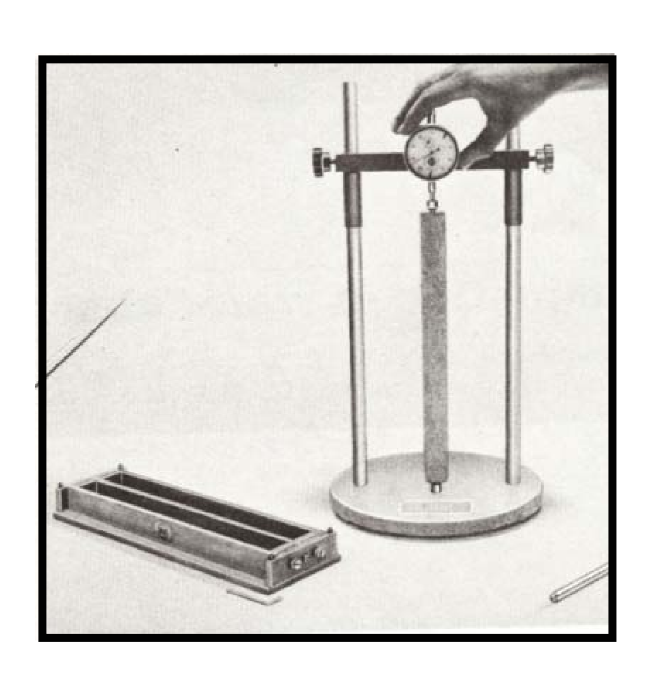
- طريقة إجراء هذا الإختبار هى أنه بعد رفع العينة من الماء (سواء كانت تعالج فى الماء بعد صبها أو كانت موضوعة فى الماء للتشبع بعد قطعها من الخرسانة ناضجة التصلد) يقاس طولها مباشرة بين الكرتين الصلب المثبتتين فى نهايتى العينة وذلك بتركيب العينة فى الجهاز المبين بشكل (١٠-٥) حيث يبين الميكرومتر أو مقياس التشكل قيمة التغير فى الطول المقاس عن طريق طول قياس معلوم لقضيب انفار Invar rod له طول مساو تقريبا لطول العينة وتكون دقة القياس لغاية ٠,٠٠٢٥ مم ثم يعين ذلك الطول الأولى الرطب للعينة L_1.
- تجفف العينة فى فرن درجة حرارته حوالى ٥٠ درجة مئوية وتكرر دورات التجفيف والتبريد وقياس الطول حتى تحصل على طول ثابت لا يتغير وتسجل القراءة النهائية L_2.
- يحسب انكماش الجفاف الأولى أو إنكماش الجفاف كنسبة مئوية كما يلى:

$$\text{Shrinkage } \% = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

ثانياً: إختبار التمدد بالرطوبة Moisture Movement

تجفف العينة الخرسانية بنفس طريقة إختبار الإنكماش السابق ذكرها ويعين طولها الجاف الثابت وليكن L_3. تغمر العينة فى ماء درجة حرارته من ١٥ - ٢٠ م° بشرط أن يكون أحد الأوجه الكبيرة للعينة ظاهر تماما فوق سطح الماء. تترك العينة مغمورة لمدة ٤ أيام وبعدها ترفع من الماء ويقاس الطول النهائى الرطب للعينة وليكن L_4 يحسب قيمة التحرك بالرطوبة كنسبة مئوية كما يلى:

$$\text{Moisture Movement } \% = \frac{L_4 - L_3}{L_3} \times 100$$



شكل (١٠-٥) جهاز قياس التمدد والإنكماش.

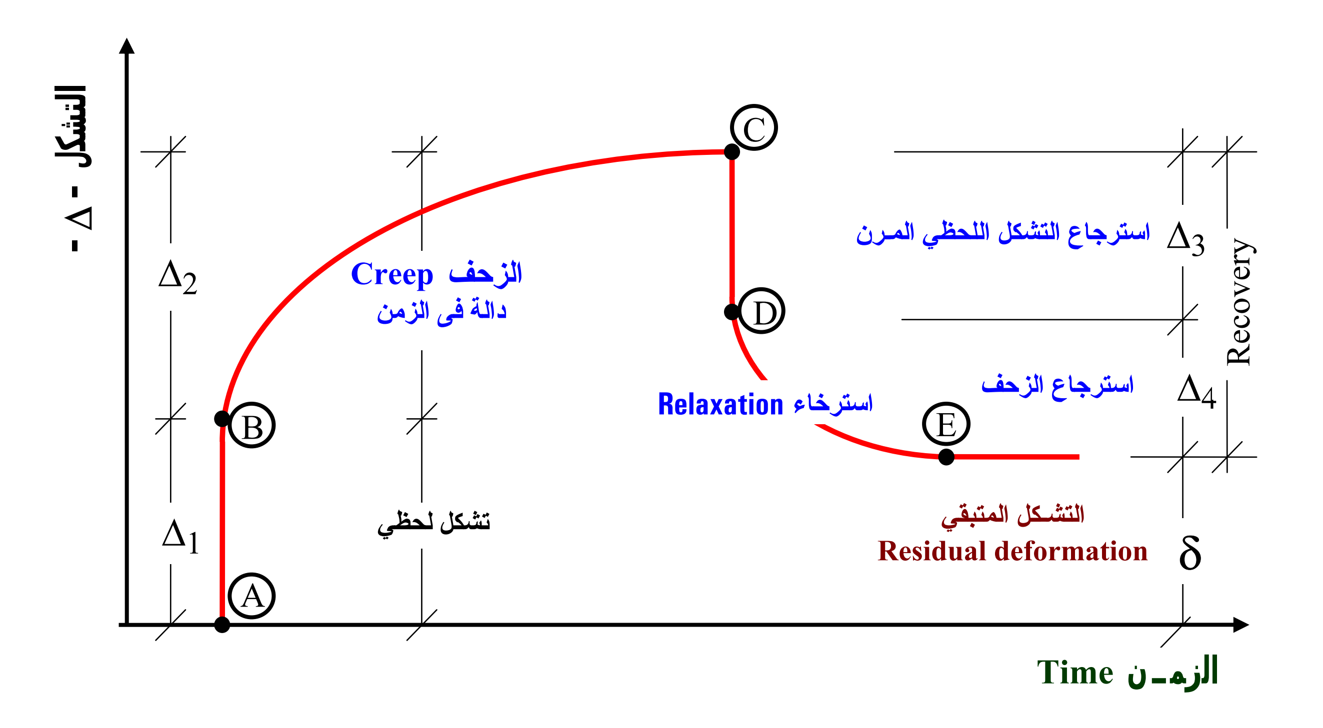
١٠-٢ الزحف Creep

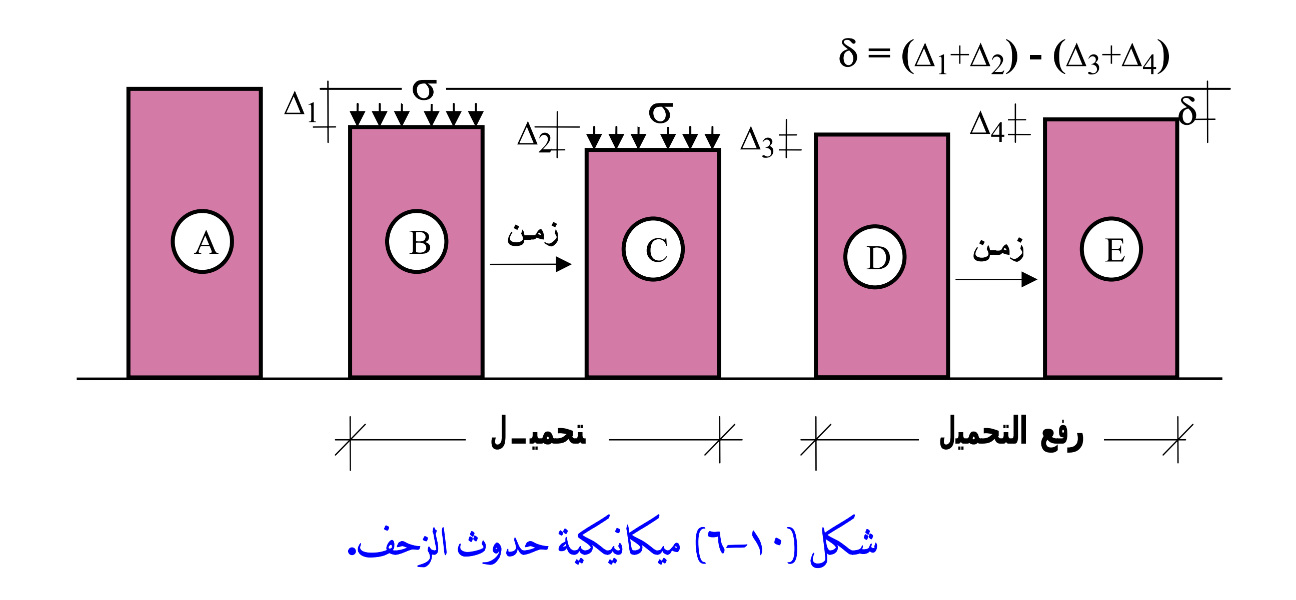
تعريف الزحف

هو الإنفعال غير المرن الذى يحدث مع مرور الزمن تحت تأثير إجهاد ثابت. أى أن الزحف يعتمد على الزمن Time-dependent وقد تصل قيمته إلى عدة أضعاف قيمة الإنفعالات اللحظية التى تحدث نتيجة أحمال التشغيل. الشكل (١٠-٦) يبين ميكانيكية حدوث الزحف.

- وقيمة الإنفعال الناتج من الزحف للخرسانة تتراوح من ٥ × ١٠-٦ إلى ٢٠ × ١٠-٦ وذلك لكل ١ كج/سم٢ إجهاد. ويمكن أخذ قيمة متوسطة للزحف الكلى للخرسانة على أساس *٠,٠١ مم لكل متر لكل واحد كج/سم٢ إجهاد*. وبالتالى فإن إجهاداً للضغط مقداره ٣٠٠ كج/سم٢ يسبب زحفا مقداره ٠,٠٠٣ (أى أن عضواً طوله ١ متر إذا تعرض لإجهاد ثابت مقداره ٣٠٠ كج/سم٢ فإنه يحدث له تشكل مقداره ٣ مم نتيجة الزحف). ومن العوامل التى تؤثر على قيمة الزحف نوع الأسمنت المستخدم ومقاومة الخرسانة ونسبة الماء إلى الأسمنت فى الخلطة وكذلك الوقت الذى تم فيه أول تحميل للخرسانة وخواص المقطع الخرسانى وقيمة الرطوبة النسبية للجو المحيط بالمنشأ. وبصفة عامة فإن قيمة الزحف تقل كلما زادت مقاومة الخرسانة ، وقد وجد أن قيمة الزحف لخرسانة ذات مقاومة للضغط ٢٠٠كج/سم٢ يقدر بحوالى ١٨×١٠-٦ لكل ١كج/سم٢ إجهاد ، فى حين كانت قيمة الزحف المناظرة لخرسانة ذات مقاومة ٦٠٠ كج/سم٢ هى ٥×١٠-٦ فقط.

- يستمر الزحف مع الوقت فى الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة إنفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله. وبالتقريب فإننا يمكننا أن نقول أن ربع قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول شهر وأن نصف قيمة الزحف الكلية تحدث فى أول سنة. وأن قيمة الزحف بعد حوالى سبعة سنوات يزيد عن قيمة الزحف بعد عام بحوالى ٣٠% فقط. وتجدر الإشارة أن قيمة الزحف النهائى فى الشد تساوى تقريباً القيمة فى الضغط إلا أن معدل حدوث الزحف فى الشد يكون أسرع نسبياً من معدل حدوثه فى الضغط.





شكل (١٠-٦) ميكانيكية حدوث الزحف.

حساب قيمة الزحف

يمكن حساب القيمة الكلية للإنفعال الناتج عن أقصى زحف والإنفعال اللحظى المرن من المعادلة الآتية:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_o (1 + \varphi) = f_o (1 + \varphi)/ E_c$$

حيث:

- ε_o **= الإنفعال اللحظى المرن الناتج عن التحميل الأولى ويساوى** f_o/ E_c .
- ε_t **= الإنفعال الكلى عند زمن t.**
- φ **= معامل الزحف.**
- $\varphi\ \varepsilon_o$ **= إنفعال الزحف.**
- f_o **= إجهاد الخرسانة الإبتدائى عند التحميل.**
- E_c **= معاير مرونة الخرسانة عند عمر التحميل.**

وتؤخذ قيم معامل الزحف φ الإسترشادية من جدول (١٠-٢) وذلك بمعلومية الرطوبة النسبية للجو والبعد الإعتبارى للقطاع والعمر عند بدء التحميل.

جدول (١٠–٢) قيم إسترشادية لمعامل الزحف φ.

حـــالة الجـــو	جو جاف (الرطوبة حوالى ٥٥%)			جو رطب (الرطوبة حوالى ٧٥%)		
العمر المعتبر عنده التحميل	البعد الإعتبارى للقطاع B - مم			البعد الإعتبارى للقطاع B - مم		
	$B \geq 600$	$600>B>200$	$B \leq 200$	$B \geq 600$	$600>B>200$	$B \leq 200$
٣ - ٧ أيام	٢,٩٠	٣,٢٠	٣,٨٠	٢,١٠	٢,٤٠	٢,٧٠
٧ - ٦٠ يوم	٢,٥٠	٢,٨٠	٣,٠٠	١,٩٠	٢,٠٠	٢,٢٠
أكثر من ٦٠ يوم	٢,٠٠	١,٩٠	١,٧٠	١,٧٠	١,٦٠	١,٤٠

تأثـــير الزحـــف

لظاهرة الزحف فى الخرسانة تأثيرات ضارة وتأثيرات أخرى نافعة نوجزها فيما يلى:

التأثير الضار:

١- يزيد من قيمة الترخيم (Deflection) فى بعض الحالات.
٢- يعمل على توسيع الشروخ التى تنشأ من عوامل أخرى.
٣- زيادة الإنفعالات نتيجة الزحف قد يؤدى إلى تشريخ الخرسانة.

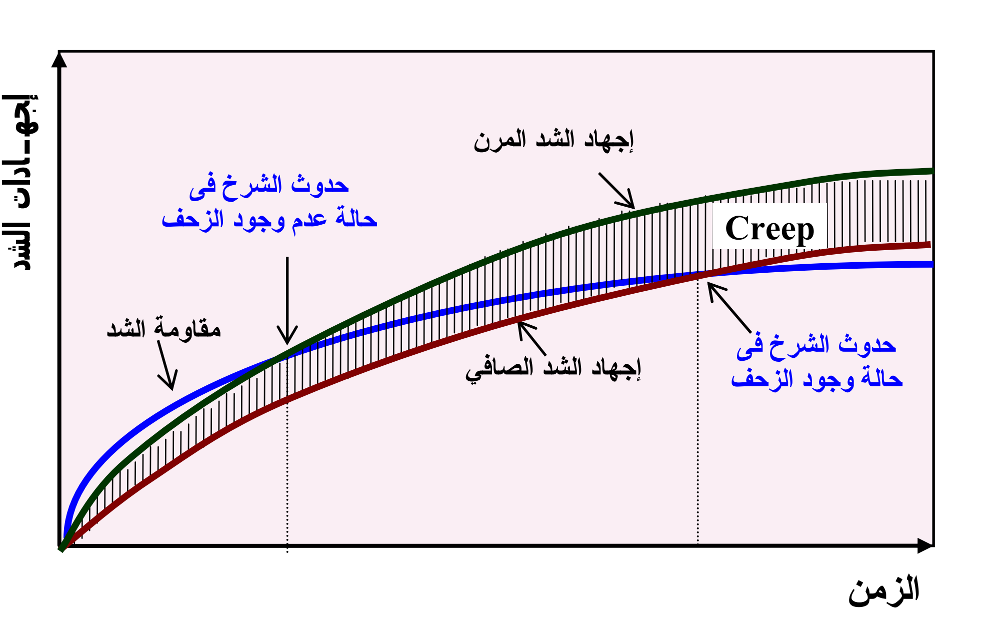
ولكن بصفة عامة فإنه لا توجد حالات إنهيار نتيجة الزحف بمفرده ولكنه عامل مساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات.

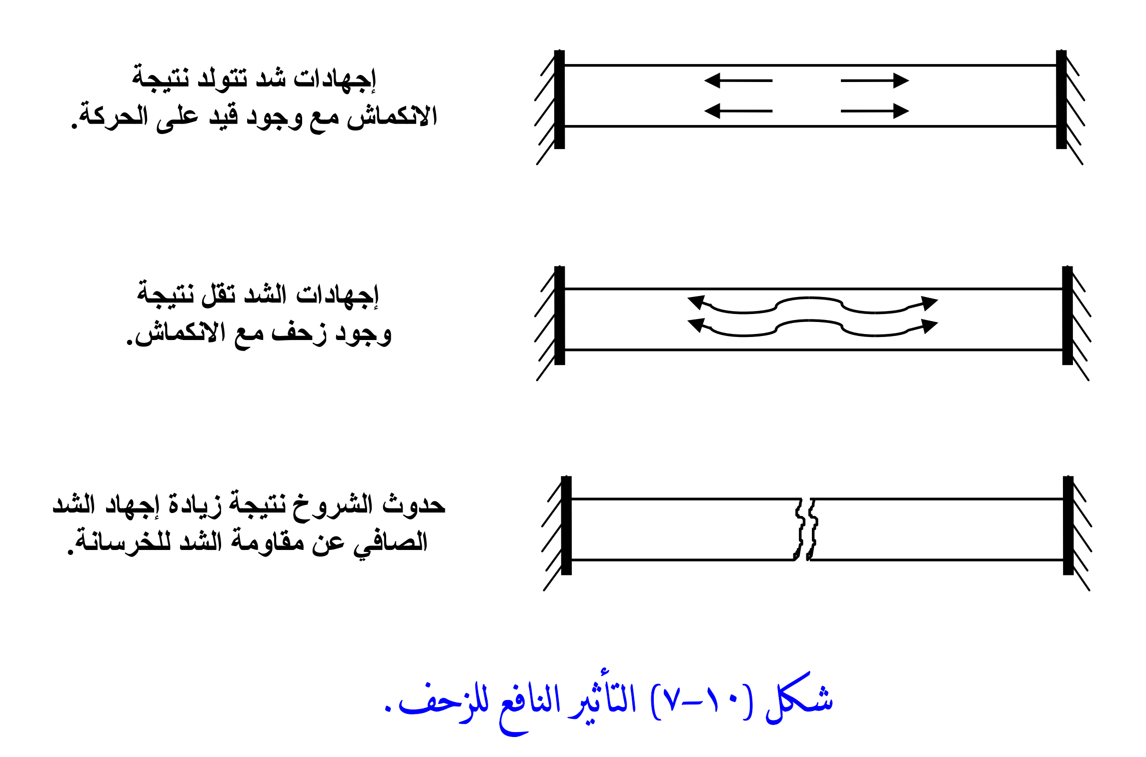
التأثير النافـع:

يؤدى الزحف إلى تقليل الإجهادات التى يسببها إنفعال شد ثابت مع الوقت (مثل الإنكماش) وبالتالى يتولد عندنا إجهاد شد صافى هو الفرق بين الإجهاد الأصلى وتأثير الزحف. وهذه الظاهرة تعرف بالإسترخاء Relaxation. ومما هو معروف أن الشروخ لا تتكون إلا إذا زاد إجهاد الشد الصافى عن مقاومة الخرسانة للشد ، كما هو موضح بشكل (١٠-٧).

تدريب:

- ❑ خذ أستك بطول معين ثم شد الأستك بين دبوسين وأتركه لمدة يوم أو يومين ولاحظ التغيرات التى تحدث له.
- ❑ أنفخ بالونة وأتركها عدة أيام منفوخة ثم لاحظ التغيرات التى حدثت على سطحها. هل سطحها مازال مشدوداً بنفس القوة مثل وقت أن نفختها ؟! وهل تتوقع أن هناك قيمة من الإنفعالات حدثت لها حتى بعد أن تفرغ منها الهواء ؟! هل هذا هو التشكل المتبقى Residual deformation ؟!
- ❑ هل هذه المواد صافية المرونة Pure elastic أو أنها مرنة- لدنة Elasto-plastic ؟!





شكل (١٠-٧) التأثير النافع للزحف.

الباب الحادى عشر

متانة الخرسانة (المُعَمِرية أو الديمومة)

Concrete Durability

١١-١ تعريف

المتانة هى تحمل الخرسانة للظروف التى صُممت من أجلها وتعمل فى محيطها فترة طويلة من الزمن (العمر الإفتراضى) دون حدوث تلف أو تفتت بها.

وبمعنى آخر فإن المتانة هى مقاومة الخرسانة للتدهور Deterioration سواءاً التدهور الناتج من عوامل خارجية أو من عوامل داخلية. العوامل الداخلية تشمل حدوث تفاعلات ضارة بين مواد الخرسانة وحدوث تغيرات حجمية بها وكذلك نفاذ السوائل فيها. أما العوامل الخارجية فتشمل ظروف التشغيل والتحميل وتأثير الجو المحيط بالمنشأ.

١١-٢ أسباب تلف الخرسانة

يوجد أسباب عديدة تؤدى إلى تلف الخرسانة Deterioration يمكن تصنيفها إلى المجموعات الآتية:

أ- أسباب داخلية

وهى المتعلقة بمكونات الخرسانة أو وجود مواد ملوثة بها مثل الطين أو الطفلة أو السيليكا النشطة (فى بعض أنواع الركام) أو وجود أملاح ضارة بهذه المكونات. كل ذلك يؤدى الى تفاعلات ضارة تعمل على تلف الخرسانة. والمكونات الرئيسية للخرسانة هى:

١- الأسمنت
٢- الركام
٣- ماء الخلط
٤- حديد التسليح
٥- الإضافات المعدنية والكيميائية

ب- أسباب خارجية وهى الناتجة من الوسط المحيط بالخرسانة

١- مهاجمة الكيماويات مثل الكبريتات والكلوريدات للخرسانة
٢- ماء البحر
٣- ماء المجارى
٤- المخلفات الصناعية

ج- أسباب أخرى تؤثر على معدل تلف الخرسانة

١- حركة المياه الجوفية
٢- درجة حرارة المياه الجوفية
٣- تذبذب منسوب المياه الجوفية (دورات بلل وجفاف)
٤- البخر خلال سطح الخرسانة
٥- التأكسد والكربنة
٦- أسباب بيولوجية

١١-٣ مقاومة الخرسانة للتلف

يمكن تصنيف أهم المقاومات التى توصف الخرسانة بأنها تتحمل مع الزمن كما يلى:

١- المقاومة للنفاذية والإمتصاص.
٢- المقاومة لصدأ الحديد.
٣- المقاومة لتأثير الكيماويات.
٤- المقاومة لماء البحر.
٥- المقاومة للعوامل الجوية.
٦- المقاومة للحريق.
٧- المقاومة لماء المجارى.
٨- المقاومة للتآكل.

١١-٤ المسامية و النفاذية و الإمتصاص

ينبغى عدم الخلط بين الإمتصاص Absorption والنفاذية Permeability والمسامية Porosity فالإمتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها وهو غير مرتبط بالنفاذية ويؤدى الإمتصاص إلى انتفاخ الخرسانة كما يؤدى إلى تفتتها عند تعرضها لدورات التجمد والذوبان وهى مشبعة بالماء.

أما النفاذية فهى الخاصية التى بواسطتها يمكن تسرب أى سائل خلال الخرسانة. وهذه السوائل تقلل من عمر الخرسانة لأن وصول الرطوبة إلى صلب التسليح يؤدى إلى الصدأ ودخول الأحماض والأملاح يؤدى إلى تدهور الخرسانة. كما أن نفاذية الخرسانة قد تعنى فى بعض الأحوال عدم أداء المنشأ لوظيفته كما فى حالة الخزانات المحتوية على سوائل أو حوائط البدرومات والمنشآت تحت الأرض ففى مثل هذه المنشآت تصبح عدم نفاذية الخرسانة خاصية مطلوبة وهامة كمقاومتها للأحمال وأكثر.

بينما نجد أن المسامية هى وجود مسام أو فجوات داخل المادة الصلبة وقد تكون هذه المسام متصلة عن طريق أنابيب دقيقة أو مسارات شعرية أو قد تكون هذه المسام منفصلة عن بعضها. إن التركيب الداخلى لعجينة الأسمنت يحتوى على مسام دقيقة نتيجة التفاعلات الكيميائية التى

تصاحب إماهة الأسمنت والماء. إذن فالخرسانة بطبيعتها مادة مسامية ولكى تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلابد من إتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة. وعلى ذلك فالمسام المحدودة العدد المعزولة عن بعضها البعض لن تؤدى إلى نفاذ الماء أو الهواء كما هو موضح فى شكل (١١-١).

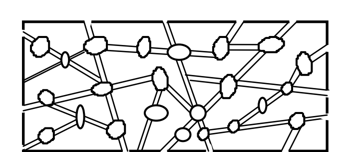
أنــواع المسام الداخليــة

يوجد ثلاثة أنواع من المسام يمكن تمييزها كما يلى:

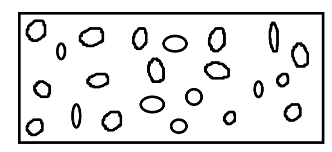
أ - المسام الهوائية ومنها الصغير جداً وهو عادة ما يتم تكوينه صناعياً داخل الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع ومنها المسام الهوائية الكبيرة غير المنتظمة وهى تنشأ عادة عن عيوب الصب والدمك للخلطة الخرسانية والمسام الهوائية يتراوح قطرها من ٠,٠١ إلى ٠,٢ مم.

ب - المسام الجيلاتينية Gel Pores وهى أدق وأصغر أنواع المسام على الإطلاق حيث يبلغ قطرها من ٠,٥×١٠-٦ مم إلى ١٠×١٠-٦ مم وتتكون بعد عملية الإماهة حيث تتصلد العجينة الأسمنتية مكونة جسماً صلباً متجانساً. هذا الجسم الصلب به نسبة عالية من الفراغات الداخلية (مسام جيلاتينية).

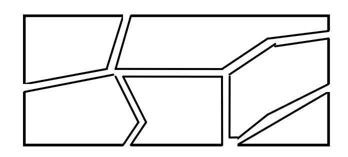
ج - المسام الشعرية Capillary Pores بعد خلط الأسمنت مع الماء مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الأسمنت والماء ويسمى الماء الموجود فى الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعرى Capillary Water حتى يحدث له تفاعل كامل مع الأسمنت ويترك مكانه خالياً مكوناً المسام الشعرية التى تعتبر أكثر أنواع المسام والتى تحدد درجة المسامية الكلية للخرسانة. والمسام الشعرية ذات قطر يتراوح من ١٠×١٠-٦ مم إلى ١٠×١٠-٣ مم (أى أنها وسط بين المسام الجيلاتينية والمسام الهوائية).



مسامية عالية ونفاذية عالية



مادة مسامية ولكن غير منفذة



نفاذية عالية ومسامية منخفضة

شكل (١١-١) حالات المسام المختلفة.

وعموماً فإن الخرسانة بطبيعتها تعتبر مادة مسامية وإتصال الفجوات الداخلية هو الذى يؤدى إلى زيادة النفاذية. ولزيادة تحمل الخرسانة مع الزمن لابد من تقليل النفاذية. وتقليل النفاذية ممكن عن طريق تخفيض نسبة الماء الى الأسمنت وإستخدام أسمنتات ناعمة وركام صلد غير منفذ ، كما أن تفادى الإنفصال الحبيبى عند الصب وكذلك الدمك الجيد والمعالجة المناسبة تقلل من نفاذية الخرسانة. وكما هومعلوم فإن إستخدام مواد بوزولانية مثل غبار السليكا يقلل من نفاذية الخرسانة كما سبق شرحة.

تأثير المنفذية على الخرسانة

١- إن سريان الماء والهواء داخل الخرسانة يؤدى إلى صدأ حديد التسليح وتآكله.

٢- فى الأجواء الباردة يتجمد الماء داخل الفراغات مسبباً تمدد ينشأ عنه إجهادات تؤثر على متانة الخرسانة.

٣- قد يحمل الماء بعض الأملاح معه داخل جسم الخرسانة فتتفاعل كيميائياً أو تتحول إلى بلورات مما يسبب إجهادات داخلية تضعف الخرسانة.

٤- قد يحمل الماء عند خروجه من الخرسانة بعض الأملاح أو المركبات المكونة للخرسانة مما يسبب زيادة الفراغات. كما أن هذا الماء يتبخر تاركاً الأملاح على السطح الخارجى للخرسانة مما يضر بشكل المنشأ.

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

١- نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) - حيث تزداد المنفذية بزيادة نسبة م/س (شكل ١١-٢) فزيادة كمية الماء تؤدى إلى وجود فراغات بالخرسانة عند جفافها. كذلك فى حالة زيادة الماء فإن القوام يصير مبتلاً مما يسمح بهبوط حبيبات الركام الثقيلة إلى أسفل ثم يخرج الماء إلى السطح خلال ممرات شعرية تظل موجودة بعد جفاف الخرسانة.

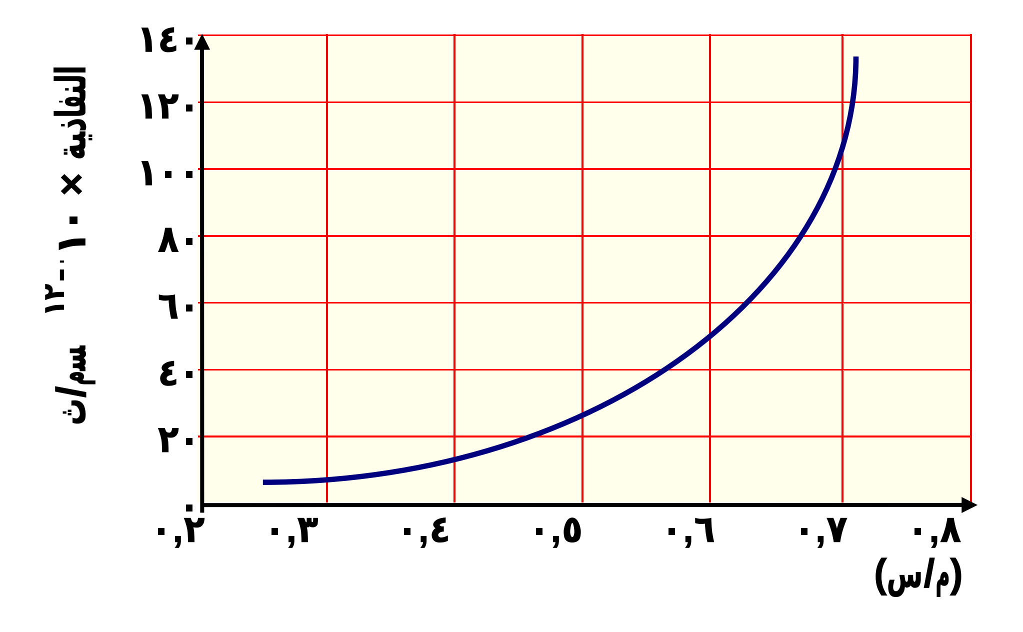
٢- الركام - يجب أن يكون الركام من النوع المصمت السليم غير المسامى كما يجب أن يكون متدرجا ويجب أن يكون من النوع الذى لا يتفاعل قلوياً مع الأسمنت حتى تتلافى وجود الفراغات الناتجة من هذا التفاعل.

٣- الإضافات - يمكن تحسين مقاومة نفاذ الماء من الخرسانة بإستخدام الإضافات للأغراض الآتية:

أ - لتقليل نسبة م/س بحيث تقل كمية الماء فى الخلطة.

ب- لتكوين طبقة سدودة تقوم بسد المسام فى الخرسانة.

ج- لتعديل تكون بللورات هيدرات سيليكات الكالسيوم CSH أثناء عملية الإماهة وبالتالى تعديل التكوين الداخلى للمسام الجيلاتينية.



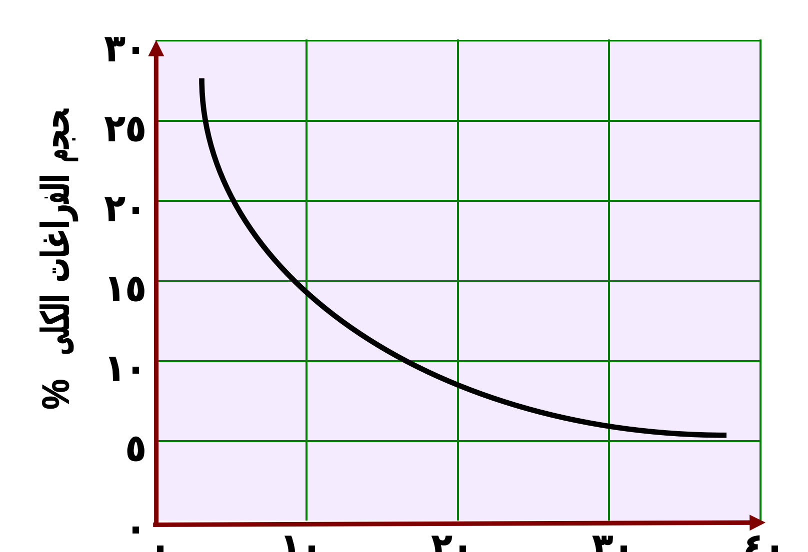
شكل (١١-٢) تأثير نسبة (م/س) على النفاذية.

٤- الخلط والدمك - إنتظام ودقة عمليتى الخلط والدمك تحسن من منفذية الخرسانة للماء.

٥- معالجة الخرسانة - إن المعالجة السيئة للخرسانة تؤدى إلى زيادة البخر وبالتالى زيادة المسام الشعرية والهوائية التى يتبخر منها الماء كما قد تؤدى إلى حدوث شروخ الإنكماش اللدن التى تزيد المسامية والنفاذية.

٦- إستعمال مواد بوزولانية Pozzolanic Materials - وهى المواد التى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج عن تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية. ومن أمثلة المواد البوزولانية مادة غبار السليكا Silica Fume وهى تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة أمثال المساحة السطحية للأسمنت (٢٠,٠٠٠ سم٢/جم) وهى ناتج ثانوى Byproduet فى صناعة سبائك السيليكون والفيروسيليكون وتتفاعل مادة غبار السليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتى لا تذوب فتؤدى إلى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية كما هو موضح بشكل (٢-٦) وكذلك شكل (١١-٣). ومن المواد الأخرى مسحوق الرماد المتطاير Fly Ash وكذلك خبث الأفران المطحون Blast Furnace Slag.

٧- حرارة الإماهة - قد تؤدى الحرارة المصاحبة لعملية الإماهة إلى حدوث شروخ ميكروسكوبية فى عجينة الأسمنت مما يؤدى إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية.



شكل (١١-٣) دور غبار السيليكا فى تقليل مسام العجينة الأسمنتية و تحسين المنفذية.

الإحتياطات والتوصيات لإنتاج خرسانة غير منفذة

١-يجب أن لا تكون الخلطة فقيرة الأسمنت.

٢-يجب أن تكون الخلطة لدنة بالدرجة الكافية لملء الشدة والفرم.

٣-إستعمال نسبة قليلة من م/س بقدر الإمكان وتعويض النقص فى القابلية للتشغيل بإستخدام إضافات مناسبة مثل Superplasticizer

٤-يجب أن يكون الركام جيد التدرج حتى نحصل على أقل نسبة فراغات ممكنة.

٥-إستخدام مواد بوزولانية إذا أمكن ذلك.

٦-يجب العناية بعمليتى الصب والدمك لتجنب تكون جيوب هوائية ولإخراج فقاعات الهواء مع مراعاة عدم حدوث إنفصال حبيبى.

٧-إستعمال مواد سدودة للماء بعد صب الخرسانة وفك الفرم.

طرق حماية الأسطح الخرسانية لجعلها غير منفذة

تنقسم هذه الطرق إلى قسمين رئيسين :

أ- إضافة مادة مانعة لنفاذ الماء إلى مكونات الخرسانة أثناء إعداد الخلطة وقد تكون هذه المادة مسحوقا ناعما يقوم بملء الفراغات الموجودة فى الخرسانة أو مادة تعمل على سرعة تكوين الجيلاتين لتتصلب الخرسانة سريعاً أو مركباً طارداً للماء للعمل على عدم سريان الماء بواسطة الخاصة الشعرية.

ب- المعاملة السطحية للخرسانة والتى يمكن أن تأخذ إحدى الصور الآتية:

١ - تشريب السطح بمواد طاردة للماء وملء الفجوات بطبقات حماية سطحية.

٢ - عمل طبقات حماية سطحية مثل:

- البياض بمواد ذات سمك ٠,٥ مم إلى ٥ مم.
- التغطية بالمواد المطاطة.
- الأغشية البوليمرية الجاهزة تثبت بالخرسانة.
- إستخدام ألواح من الصلب الذى لا يصدأ أو ألواح من البلاستيك.
- التبليط ببلاطات مقاومة للمواد الضارة بالخرسانة مثل السيراميك أو القيشانى.

١١-٥ صدأ الحديد Steel Corrosion

إن صدأ حديد التسليح هو أكثر مشاكل المنشآت انتشاراً فى منطقتنا العربية ويرجع معظم التصدع فى المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الإفتراضى لصدأ الحديد. وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد التى تتحمل مع الزمن وتعيش طويلاً ويفضلها المصممون عن كثير من أنواع المنشآت ولايقلل من عمرها وتحملها إلا صدأ الحديد. وقد يكون الصدأ بسيطاً ويظهر فى صورة تنميل خفيف ـشروخ رفيعةـ عند أسياخ التسليح أو بقع صدأ وقد يزيد فيؤدى إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرسانى Spalling وقد يصل الصدأ إلى حدوث إنهيار للعضو الخرسانى بأكمله.

وخطورة صدأ الحديد أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور أعراض وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الحديد بطئ وقد يستمر سنين وخطورته أيضا أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة ما لم يزال الحديد الصدئ والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة. وأى إجراء يتبع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الإستمرار. والحقيقة أن الرطوبة والأكسجين هما وقود عملية الصدأ الذى يبدأ حينما تفقد الحماية التى توفرها الخرسانة للأسياخ نتيجة أسباب عديدة مثل زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو التحول الكربونى للخرسانة الخارجية أو حدوث شروخ نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ.

كيف تحمى الخرسانة الأسياخ من الصدأ ؟

الحماية التى توفرها الخرسانة للأسياخ ضد الصدأ ذات شقين:

أـ تكون طبقة حماية سلبية (Passive Protection Layer) على سطح الأسياخ

وترجع هذه الحماية إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسياخ قاعدية ذات أس هيدروجينى (pH) يتراوح من ١٢ إلى ١٤ وعند هذه القيمة للأس الهيدروجينى فإن التفاعلات الكيميائية التى تحدث على سطح أسياخ التسليح تؤدى إلى ظروف تصبح فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة ـ كما تؤدى هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رقيقة جداً من نواتج الصدأ ـ مثل أكسيد الحديد Fe_2O_3 ـ فتلتصق بسطح السيخ وتمنع حدوث صدأ الحديد ـ وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح هى سبب حماية هذه الأسياخ ، وعملياً فإن هذه الحماية فعالة لمدة طويلة إلا إذا فُقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل فى الخرسانة أو نتيجة للتحول الكربونى للخرسانة السطحية.

ب- عمل حاجز يمنع وصول الرطوبة والأملاح فى الجو المحيط إلى الأسياخ وهذا الحاجز هو الغطاء الخرسانى للأسياخ Cover.

أسباب حدوث صدأ الحديد

عندما يقل الغطاء الخرسانى عن حد معين يصبح السيخ معرضاً للعوامل الجوية ويمكن أن يبدأ الصدأ فى وجود الرطوبة والأكسجين. وحتى مع وجود غطاء خرسانى كاف فإن الصدأ يمكن أن يبدأ عندما تقل قاعدية الخرسانة المحيطة بالأسياخ إلى الحد الذى ينخفض فيه الأس الهيدروجينى إلى ١٠ أو أقل ، ففى هذه الحالة تصبح الطبقة الحامية السلبية غير متزنة وتنكسر مما يجعل التيار الكهربائى يسرى فىالسيخ ومن ثمَ يبدأ الصدأ. وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية:

١- التحول الكربونى للخرسانة فى الغطاء الخرسانى Carbonation.

٢- أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو.

٣- تغلغل الكلوريدات فى الخرسانة من المياه المحيطة أو وجودها فى الخلطة الخرسانية أصلاً.

٤- وجود شروخ سطحية -لأسباب أخرى غير الصدأ- بعمق يصل إلى أسياخ الحديد وخاصة إذا كانت الشروخ موازية لصلب التسليح.

أولاً: التحول الكربوني للخرسانة Carbonation

تفقد خرسانة الغطاء الخارجى قاعديتها نتيجة عملية تسمى التحول الكربونى للخرسانة وهى تفاعل ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة - هيدروكسيد الكالسيوم - محولاً إياها إلى كربونات فى وجود الرطوبة :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{\text{water}} CaCO_3 + H_2O$$

وكنتيجة لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للأسياخ (أقل من ١٠). ونظراً لأن التحول الكربونى ينتج عن التفاعل مع ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح ويمتد إلى الداخل. والخرسانة الجيدة غير المنفذة للماء لا يحدث لها تحول كربونى إلا فى حدود طبقة سطحية جداً (عدة ملليمترات) حتى عندما يصبح المبنى قديماً ولكن الخرسانة الرديئة المنفذة للماء يحدث لها تحول كربوني بعمق يصل إلى عشرة أضعاف عمق التحول فى الخرسانة الجيدة.

وتحدث عملية متشابهة للتحول الكربونى فى وجود ثانى أكسيد الكبريت فى الجو المحيط بالأعضاء الخرسانية وتسمى عملية التحول الكبريتى ، وتسبب أيضا نقص قاعدية الخرسانة المحيطة باسياخ التسليح ، وإذا حدث تحول كربونى وكبريتى معاً فإن ذلك سيؤدى إلى زيادة وإن كانت بسيطة فى سرعة فقد الخرسانة لقاعديتها. ولهذا يوصى بزيادة الغطاء الخرسانى لصلب التسليح فى الأجواء الملوثة بالكبريتات.

ثانياً: أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو

يفقد حديد التسلح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تغلغل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء - غالباً ثانى أكسيد الكربون وفى المناطق الصناعية ثانى أكسيد الكبريت- داخل الخرسانة ويعتمد هذا التغلغل على نفاذية الخرسانة Permeability بدرجة كبيرة. والخرسانة الرديئة غالباً ما تكون منفذة أما الخرسانة الجيدة فهى غير منفذة. كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء الخرسانى. إن نفاذية الخرسانة وسمك الغطاء الخرسانى هما المسئولان عن حماية الأسياخ ضد المؤثرات الخارجية وتغيرهما الكبير من منشأ لآخر هو الذى يفسر التغير الكبير فى وقت بداية الصدأ فى المنشآت المختلفة المعرضة لنفس الظروف الجوية.

ثالثاً: الكلوريدات Chlorides

تعتبر أيونات الكلوريدات Chloride Ions من أكثر المواد التى تدمر الحماية السلبية لصلب التسليح داخل الخرسانة. وهذه الكلوريدات من الممكن أن تكون موجودة فى الخرسانة من لحظة خلطها (مصادرها الركام أو ماء الخلط أو الإضافات المحتوية على كلوريد الكالسيوم) أو تصل إلى الخرسانة بعد إستعمال المنشأ (مصادرها مياه البحر أو المياه الجوفية). ووجود الكلوريدات -أيا كان مصدرها- فى الخرسانة يؤدى إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة ما زالت مرتفعة.

وصدأ الحديد نتيجة وجود كلوريدات داخل خلطة الخرسانة أخطر وأصعب فى إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربونى لأنه بينما يمكن منع حدوث مزيد من التدهور فى الأعضاء التى تحولت خرسانتها السطحية كربونيا فلا توجد وسيلة فعالة لمنع التدهور فى حالة وجود تركيز عال من الكلوريدات داخل خلطة الخرسانة إلا إزالة الخرسانة المعيبة تماماً من حول أسياخ التسليح.

وتقوم أيونات الكلوريدات الحرة - الموجودة فى الماء داخل فراغات الخرسانة - بمهاجمة صلب التسليح وتسبب له الصدأ. وميكانيكية التفاعلات الكيميائية فى هذه الحالة معقدة إلى حد كبير ولكن يمكن القول ببساطة أن أيونات الكلوريدات قادرة على تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح حديد التسليح والتى توفر له الحماية السلبية حتى وإن كانت قاعدية الخرسانة مازالت عالية ولم يحدث لها تحول كربونى أما فى حالة حدوث تحول كربونىفإن قيماً أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للحديد وسيصبح معدل الصدأ أسرع.

والملاحظ أنه فىالفترة الأخيرة تم تقليل القيم المسموح بها فىالمواصفات العالمية والخاصة بنسبة تركيز الكلوريدات فى الخرسانة وذلك فى ضوء التجارب والخبرة المتاحة بحيث أصبحت القيم المسموح بها الآن أقل بكثير من القيم التى كان يسمح بها سابقا. ومنع الكلوريدات من التغلغل فى الخرسانة يعتمد أساساً على عدم نفاذية هذه الخرسانة كما بعتمد على سمك الغطاء الخرسانى.

رابعاً: وجود شروخ بالخرسانة

تعتبر الشروخ منفذاً سهلاً للأكسجين والرطوبة والكلوريدات ولذا فإن الشروخ السطحية الموازية للأسياخ يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتى ستؤدى بدورها إلى حدوث شروخ جديدة. وقد يكون سبب هذه الشروخ الإنكماش اللدن أو الهبوط اللدن وهى شروخ تحدث على أسطح البلاطات. وفى الحالات التى تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح تصبح هذه الشروخ مخزناً للتلوث قريباً من الحديد العلوى. والأخطر من ذلك الفجوات التى تحدث تحت أسياخ التسليح عندما يحدث إدماء للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن. هذه الفجوات يصعب جداً العثور عليها كلها وتشكل مصدراً دائماً للرطوبة وسبباً قوياً للصدأ لأن حماية أسياخ التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح السيخ بأكمله. والحل الأمثل فى مثل هذه الحالات هو تجنب حدوث هذه الفجوات أصلاً بالتأكد من أن خواص الخرسانة مناسبة لطريقة صبها ومعالجتها. وهذا الأمر هام جداً لمنع حدوث الصدأ.

ميكانيكية حدوث الصدأ

صدأ الحديد هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة وتحتاج إلى عامل مؤكسد (الأكسجين) ورطوبة وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب فى المعدن ويجب توفر الوسط الذى ينقل التيار الكهربى من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائى به أملاح ذائبة. وتحدث فى هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيمائية على النحو التالى - أنظر شكل (١١-٤).

١- يتحلل الحديد من القطب الموجب على هيئة أيونات الحديدوز $(Fe)^{++}$ حسب التفاعل:

$$2Fe \longrightarrow 2Fe^{++} + 4e^{-}$$

٢- تنتقل الألكترونيات المتولدة من التفاعل السابق (4e-) فى سيخ الحديد إلى منطقة القطب السالب حيث تتفاعل مع الأكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيل (OH) حسب التفاعل:

$$2H_2O + O_2 + 4e^{-} \longrightarrow 4(OH)^{-}$$

٣- عند تقابل نواتج التفاعلين -أيونات الحديدوز مع أيونات الهيدروكسيل- يترسب هيدروكسيد الحديدوز وفقاً للتفاعل:

$$2Fe^{++} + 4(OH)^{-} \longrightarrow 2Fe(OH)_2$$

٤- يتأكسد هيدروكسيد الحديدوز الناتج بفعل الأكسجين والماء إلى أيدروكسيد الحديدك - تفاعل ثانوى- الذى يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أكسيد الحديد) طبقاً للتفاعل:

$$2Fe(OH)_2 \xrightarrow{O_2 + H_2O} 2Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3.H_2O$$

ويعتبر أكسيد الحديد الناتج شديد الإمتصاص للماء وضعيف الإلتصاق بالحديد ، وبذلك يسهل إزالته بالذوبان البطئ تاركاً سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد ويمكن عن طريق قياس التيار الكهربائى فى أسياخ الحديد الصدأة معرفة الصدأ فى الأسياخ التى يصعب الكشف عليها ، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ. وهيدروكسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم السيخ الأصلى زيادة كبيرة مما يؤدى إلى تولد إجهادات انفصالية عالية حول أسياخ التسليح تؤدى إلى شروخ طولية موازية للأسياخ وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية فى التساقط.

❑ الخلاصـــة

يمكن تلخيص تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد بالمراحل الآتية :-

١- عند تصلد الخرسانة تتكون طبقة حماية سلبية حول أسياخ الحديد نتيجة قاعدية الخرسانة (الأس الهيدروجينى من ١٢ إلى ١٤).

٢- عندما تقل قاعدية الخرسانة (أقل من ١٠) تُفقد هذه الطبقة الحامية ويصبح السيخ معرضاً للصدأ. وقاعدية الخرسانة تقل إما لوجود أبخرة حامضية أو حدوث تحول كربونى للخرسانة السطحية أو وجود الكلوريدات أو وجود شروخ سطحية بالخرسانة.

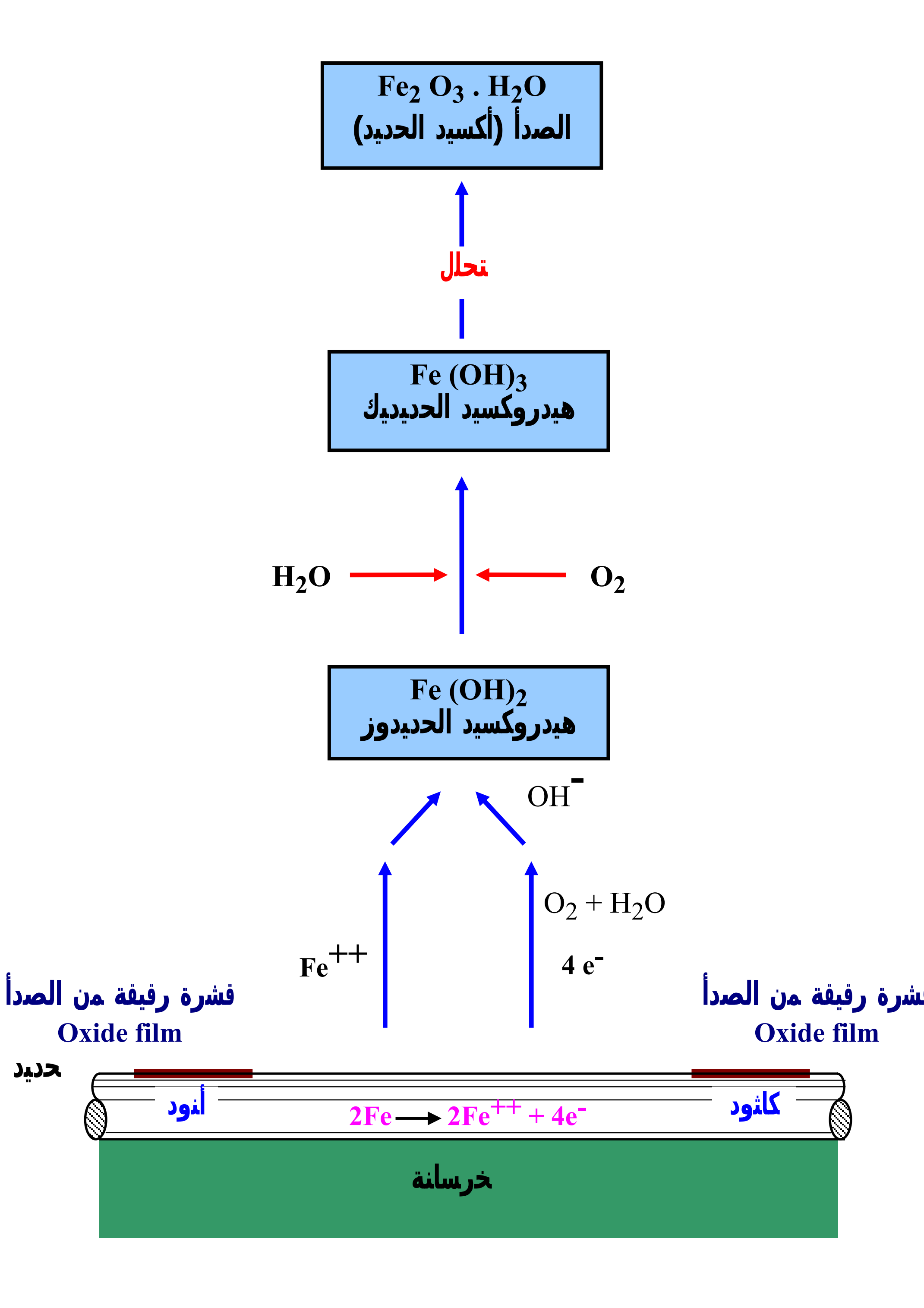
٣- التحول الكربونى يكون بطيئاً جداً فى الخرسانة الجيدة ولكن عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها وقلة سمك الغطاء الخرسانى ووجود الشروخ السطحية ووجود رطوبة من ٥٠ - ٧٥% تسرع بمعدله.

٤- الكلوريدات تأثيرها على صدأ الحديد يبدأ إذا زاد تركيزها فى الخلطة الخرسانية عن ٠,٣% من وزن الأسمنت ويكون تأثيرها أخطر إذا كانت من مصدر خارجي.

٥- يبدأ الصدأ عند توفر الأكسجين والرطوبة وتظهر بقع الصدأ ثم تظهر شروخ شعرية طولية موازية للحديد الرئيسى وفوقه مباشرة.

٦- إستمرار عملية الصدأ يؤدى إلى تشريخ الغطاء الخرسانى لأن أكسيد الحديد الناتج من الصدأ حجمه أكبر كثيراً من حجم الحديد الأصلى.

٧- كلما إزداد الصدأ كلما زادت الشروخ فى الطول والعرض ثم تبدأ الخرسانة الخارجية فى التساقط وتظهر الأسياخ الصدأة بوضوح.



شكل (١١-٤) ميكانيكية حدوث الصدأ فى حديد التسليح.

١١-٦ المقاومة لتأثير الكيماويات Chemical Attack

يتعرض جزء صغير من المنشآت الخرسانية فى بعض الأحيان إلى تأثير الكيماويات ويجب الإبتعاد ما أمكن عن هذه التأثيرات لأن مقاومة الخرسانة للكيماويات غالباً أقل من مقاومتها للمؤثرات الأخرى. ومن التأثيرات الشائعة للكيماويات تأثير أملاح الكبريتات وماء البحر والمياه الحامضية الطبيعية وتتوقف مقاومة الخرسانة للكيماويات على نوع الأسمنت المستخدم فى صنعها. كما أن كثافة الخرسانة وعدم منفذيتها للماء تؤثرعلى تحمل الخرسانة بدرجة قد تفوق تأثير إختلاف نوع الأسمنت. وفيما يلى توضيح موجز عن تأثير أهم الكيماويات الشائعة على الخرسانة:

١- أملاح الكبريتات Sulphates

تشتمل أملاح الكبريتات الموجودة فى التربة والمياه الجوفية والتى قد تسبب أضراراً للخرسانة على كبريتات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم وكبريتات البوتاسيوم وهذه الكبريتات بإستثناء كبريتات الكالسيوم تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير الحر) الموجود داخل الخرسانة المتصلبة وينتج من هذا التفاعل كبريتات الكالسيوم (الجبس) وفقاً للمعادلة التالية:

$$Ca\,SO_4 . 2H_2O + 2\,Na\,OH . 8H_2O \rightarrow Ca\,(OH)_2 + Na_2\,SO_4 . 1OH_2O$$

فكبريتات الكالسيوم المتكونة تتفاعل بدورها مع ألومينات الكالسيوم لتشكل ألومينات الكالسيوم الكبريتية المائية أى Calcium Sulphoaluminate ويشار إليها عادة بإسم الإترنجايت Etringite:

$$4CaO . Al_2O_3 . 19H_2O + 3(CaSO_4 . 2H_2O) + 16H_2O \rightarrow$$

$$3\,CaO . A1_2O_3 . 3CaSO_4 . 32H_2O\ (\text{الإترنجايت}) + Ca(OH)_2$$

وتسبب بلورات الإترنجايت ضغطاً داخلياً يؤدى الى تشرخ الخرسانة وتلفها. ويتم وقاية الخرسانة فى التربة الغنية بالكبريتات وذلك بعمل طبقة من الأسفلت أو دهانها بالبيتومين أو غيرها من الطبقات العازلة على أن تكون ملتصقة تماما بسطح الخرسانة حتى لا تنفصل عنها ويمكن إستعمال الخرسانة الجيدة المخلوطة بالأسمنت البورتلاندى فى التربة المحتوية على نسبة قليلة من الكبريتات. وفى حالة التربة المحتوية على نسبة كبيرة من الكبريتات فإنه من الضرورى الإهتمام بتصميم الخلطة الخرسانية وإستعمال الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات.

٢- الأحماض Acids

إذا تواجد ثانى أكسيد الكربون أو ثانى أكسيد الكبريت فى ظروف جوية رطبة أو أية أبخرة حامضية أخرى فإنها تهاجم الخرسانة فتذيب وتزيل جزءاً من الأسمنت وتكون طبقة لينة (Soft) تسهل إزالتها من سطح الخرسانة. ويحدث مثل هذا التأثير فى المداخن وفى الخرسانة الموجودة فى الأجواء الصناعية مثل مسابك الحديد ووحدات إنتاج الغاز. وعموماً فإن الأحماض غير العضوية تؤثر تأثيراً شديداً - أكثر من غيرها - على الخرسانة حيث تتفاعل مع الجير الحر مكونة كلوريدات وكبريتات ونترات. وتتوقف شدة التأثير على مدى ذوبان تلك المركبات فى الماء وعلى تركيز تلك الأحماض وعلى سرعة التفاعل التى تزداد إذا كانت الأحماض ساخنة.

٣- أملاح الكلوريدات Chlorides

تتحد معظم أملاح الكلوريدات مع الجير الحر الموجود فى الأسمنت البورتلاندى لتكون كلوريد الكالسيوم القابل للذوبان وبالتالى يتسرب إلى خارج الخرسانة مكوناً مترسبات بيضاء على السطح مع حدوث فراغات بالخرسانة. وتكون كلوريد الكالسيوم بدرجة تركيز عالية يؤدى إلى التلف الشديد لسطح الخرسانة.

٤- الزيوت الدسمه Fats

تحتوى الزيوت الدسمة الحيوانية والنباتية على أحماض تهاجم الخرسانة فتتفاعل مع أملاح الكالسيوم والجير الحر بالأسمنت البورتلاندى لتكون سليكات الكالسيوم فتجعل الخرسانة لينة وتزداد قيمة ذلك التأثير إذا كانت الزيوت دافئة أو إذا أمكنها التغلغل داخل الخرسانة.

٥- الرصاص Lead

إذا وجدت الرطوبة فإن الجيرالحر بالأسمنت البورتلاندى يتفاعل مع الرصاص فيحدث التلف الخرسانى وكذلك يحدث تلف أكبر للرصاص. وتحدث هذه الحالة للمواسير الموجودة داخل الخرسانة حيث تتلف تلك المواسير تلفاً كاملاً لتكون أكاسيد الرصاص نتيجة للتفاعل السالف الذكر. لذلك يجب المحافظة على مواضع الرصاص داخل الخرسانة بتغطيتها وعزل سطحها عن الخرسانة.

٦- السكريات وعصير الفواكه Sugar

تؤثر المواد السكرية كالعسل والجلوكوز والسكر وكذلك الأحماض الموجودة بالفاكهة تأثيراً بسيطا بطيئاً على الخرسانة.

١١-٧ الخواص الحرارية للخرسانة Thermal Properties

تعتبر الخواص الحرارية للخرسانة ذات أهمية كبرى فى حالة الخرسانة الكتلية حيث يجب تقدير الزيادة فى درجة الحرارة وكيفية توزيع الحرارة بالخرسانة وذلك لإمكان تصميم طريقة التبريد المناسبة لخرسانة المنشأ حتى لا تتسبب الزيادة فى الحرارة فى تشريخها وتفتتها.كما أن الخواص الحرارية ذات أهمية كبرى أيضا فى تقدير الإجهادات الناشئة بين الخرسانة وطبقات الحماية لأسطح الخرسانة حيث تتعرض الخرسانة لفارق فى درجات الحرارة بين الجو الخارجى والخرسانة المغطاة مما يؤدى إلى وجود قوى عمودية تعمل على إنفصال طبقات الحماية عن الخرسانة. ومن أهم الخواص الحرارية الرئيسية للخرسانة:

١- التمدد الحرارى Thermal Expansion

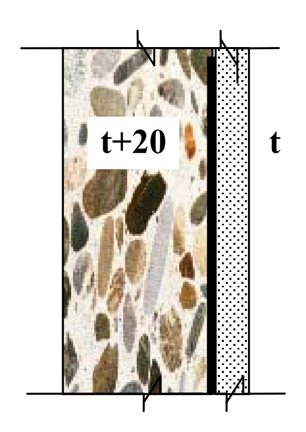
يسبب التمدد الحرارى إجهادات داخلية فى الخرسانة سيما إن كانت مقيدة الحركة وهذه الإجهادات قد تسبب شروخاً وتفتتاً فى الخرسانة إذا لم تؤخذ فى الإعتبار. ويعتمد معامل التمدد الحرارى للخرسانة بدرجة كبيرة على نوع الركام المستخدم وتدرجه. وقيمة معامل التمدد الحرارى للخرسانة = ١×١٠-٥ لكل درجة مئوية (س°). كما أن معامل التمدد الحرارى لحديد التسليح = ١,٢×١٠-٥ لكل درجة مئوية. ولأغراض التصميم فإنه لكل من الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة يؤخذ معامل التمدد الحرارى مساوياً ١×١٠-٥ لكل درجة مئوية.

$$\alpha = 1 \text{ x } 10^{-5} \text{ cm / cm . c}^{o}$$

والإجهادات ا رارية (σ) كن حسابا من ا عادلة:

$$\sigma = E \, . \, \alpha \, . \, (\Delta T)$$

حيث E معاير ا رونة ، α معامل التمدد ا رارى ، (ΔT) فرق ا رارة.



مثال: إذا كان فرق درجات الحرارة المتوقع بين الجو الخارجى والخرسانة المغطاة بطبقة حماية هو عشرون درجة مئوية فاحسب إجهادات القص المتولدة بين الخرسانة وطبقة الحماية إذا كان معاير المرونة للخرسانة هو ٢٠٠ طن/سم٢.

الحـــــل

$$\sigma = E \, \alpha \, (\Delta T)$$
$$= 200 \, (10)^{3} \text{ x } 1\text{x}10^{-5} \text{ x } 20$$
$$= 40 \text{ kg / cm}^{2}$$

٢- الموصلية الحرارية Thermal Conductivity (k)

وتعرف بأنها كمية الحرارة التى تمر عمودياً على السطح فى وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته الوحدة وتخانته الوحدة عندما يوجد فرق فى درجات الحرارة بين سطحى المادة مقداره الوحده. وتختلف هذه الخاصية بإختلاف درجات الحرارة وإختلاف كثافة المادة ودرجة تشبعها بالرطوبة ، وتقدر بوحدات واث/ م س ٥ ، حيث س ٥ ترمز إلى وحدة درجات الحرارة المئوية.

وقيمة الموصلية الحرارية لمواد البناء الأساسية مثل الطوب بأنواعه والخرسانة والمواد الجبسية تتراوح من ٠,٢٠ إلى ٢,٠ وات/ م س ٥ ، أما المواد العازلة المستخدمة فى المبانى مثل البوليسترين والفيرموكليت والخرسانة الخفيفة الخلوية فتكون لها موصلية حرارية منخفضة تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,٢ وات/ م س٥.

٣- المواصلة الحرارية Thermal Conductance (C)

وتعرف بأنها كمية الحرارة التى تمر عمودياً على السطح فى وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته الوحدة عندما يوجد فرق فى درجات الحرارة بين سطحى المادة مقداره الوحده. ويمكن حساب المواصلة الحرارية بقسمة الموصلية الحرارية على تخانة المادة $(C = k/L)$ وتقدر بوحدات وات/ م٢ س٥.

٤- المقاومة الحرارية Thermal Resistance (R)

هى مقياس لقدرة المادة على تقليل سريان الحرارة خلال وحدة المساحات لتخانة العينة المختبرة ، ويمكن حساب مقاومة المادة للحرارة وذلك بقسمة تخانة العينة (L) على الموصلية الحرارية (K). وهى مقلوب قيمة المواصلة الحرارية (C) ، وتقدر بوحدات م٢ س٥ / وات.

٥- الحرارة النوعية للمادة Specific Heat (C_p)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كج من المادة درجة واحدة مئوية. ويقدر بوحدات جول/ كج س٥ أو بوحدات وات . ثانية / كج س٥.

٦- السعة الحرارية لوحدة الحجوم Volumetric Heat Capacity (C_V)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الحجوم من المادة درجة واحدة مئوية ، وتقاس السعة الحرارية بوحدات جول/ م٣ س٥. ويمكن تعيين قيمة السعة الحرارية حسابياً بحاصل ضرب الكثافة (ρ) فى الحرارة النوعية للمادة (C_p).

$$(C_V) = \rho \times (C_p)$$

٧- الإنتشارية الحرارية Thermal Diffusivity (γ)

الإنتشارية الحرارية تمثل سرعة إنتشار الحرارة خلال المادة أو بين سطحى المادة وهى عبارة عن خارج قسمة الموصلية الحرارية على السعة الحرارية لوحدة الحجوم. وتقدر بوحدات م٢/ثانية.

$$\gamma = k / C_V$$

وتعتبر الموصلية الحرارية (k) من أهم الخصائص الحرارية للمواد الإنشائية يلى ذلك خصائص أخرى مثل الحرارة النوعية للمادة والإنتشارية الحرارية وتفيد دراسة هذه الخصائص فى الأحوال الآتية:

أ - معرفة كمية الحرارة المنبعثة من الخرسانة الكتلية.

ب- معرفة خواص الحوائط الخرسانية من وجهة مدى الإحتفاظ بالحرارة.

ج- معرفة مدى تكثف الرطوبة أو الرشح على سطح الخرسانة.

جدول (١١-١) يوضح بعض الخواص الحرارية لبعض مواد البناء ومواد العزل الحرارى الشائعة الإستخدام فى مجال الإنشاءات طبقاً لما جاء فى المواصفات الخاصة ببنود أعمال العزل الحرارى لسنة ١٩٩٨. علماً بأن الأرقام الواردة بالجدول تعتبر قيم إسترشادية فقط وغير ملزمة بالتحديد.

جدول (١١-١) بعض الخواص الحرارية لمواد البناء ومواد العزل الحرارى الشائعة الإستخدام.

المـــــادة	الموصلية الحرارية وات/ م س ه	الحرارة النوعية جول/ كج س ه	الكثافة كج/م٣
أولاً مواد الإنشاء العامة			
خرسانة عادية	١,٤٤	٨٦٠	٢٤٠٠
حديد صلب	٤٥,٣	٥٠٠	٧٨٥٠
بياض أسمنتى	٠,٩ - ١,٠		١٥٧٠
رخام	٢,٦	٨٨٠	٢٦٠٠
زجاج عادى	١,٠	٧٥٠	٢٤٧٠
طوب خرسانى مصمت	١,٤	٨٤٠	٢٠٠٠
طوب أسمنتى مصمت	١,٢٥	٨٨٠	١٨٠٠
طوب أسمنتى مفرغ	١,٦	٨٨٠	١١٤٠
طوب طفلى مصمت	١,٠	٨٣٠	١٩٥٠
طوب طفلى مفرغ	٠,٦	٨٤٠	١٧٩٠
طوب ليكا مفرغ	٠,٣٩	١٠٠٠	١٢٠٠
طوب فوم مصمت	٠,٢٥		٨٠٠
طوب فوم مفرغ	٠,٢		٥٣٠
طوب خفاف أبيض	٠,٣٣	٨٥٠	٩٨٥
طوب رملى وردى مصمت	١,٥٩	٨٣٥	١٨٠٠
طوب رملى مفرغ	١,٣٩	٨١٠	١٥٠٠
ثانياً مواد العزل الحرارى			
منتجات البوليسترين فوم	٠,٠٢٧ - ٠,٠٤٥		١٥ - ٤٠
منتجات الصوف الزجاجى	٠,٠٤٣ - ٠,٠٥٠		٣٠ - ١٣٠
منتجات الصوف الصخرى	٠,٠٤٣ - ٠,٠٥٥		٧٠ - ٣٥٠
مونة الأسمنت الرغوى	٠,١ - ٠,٢٥		٤٠٠ - ٨٨٠
مونة حبيبات الفوم	٠,١١ - ٠,١٩		٦٠٠ - ١٠٠٠
مونة فيرموكليت	٠,١٣٥ - ٠,٣٠٠		٤٨٠ - ٩٦٠
فيرموكليت سائب	٠,٠٦٥		١٠٠

١١-٨ المقاومة للحريق Fire Resistance

مقاومة عنصر خرسانى ما للحريق هى الفترة الزمنية التى يتحمل خلالها هذا العنصر الحريق ويقاوم نفاذ اللهب والغازات الساخنة من خلاله و تتوقف مقاومة الخرسانة للحريق على العوامل الآتية:

١- سمك المنشأ الخرسانى : تزيد المقاومة كلما كبر سمك المنشأ وتعتبر الخرسانة الكتلية أكثر الأنواع مقاومة للحريق. ولذلك يراعى فى بعض المنشأت الخرسانية ذات السمك الصغير وكذلك فى الخرسانة سابقة الإجهاد Pre-Stressed أن يكون الغطاء بطبقة من الخرسانة أولاً يليها طبقة من المصيص.

٢- نوع المنشأ (مصمت أو مفرغ): تقل مقاومة الخرسانة المصمتة للحريق عن المفرغة وينبغى مراعاة أن تحتفظ الخرسانة بمقاومتها للأحمال بعد تعرضها لحرارة الحريق. وغالباً فإنه إذا استمر الحريق أكثر من ساعة أو إثنين فإن ذلك يجعل الخرسانة تصل لدرجة حوالى ألف درجة مئوية مما يجعلها لا تصلح بعد ذلك كمادة إنشائية نظراً لتشريخها الشديد مع تكسرها بتمدد حديد التسليح وتفتتها فى مواضع مختلفة. وتؤثر حرارة الحريق تأثيراً سيئاً على حديد التسليح من الصلب الطرى فتقل مقاومته وبالتالى إجهاد الخضوع مما يضعف تحمل الخرسانة المسلحة.

٣- نوع الركام : يوجد بعض أنواع الركام ذات مقاومة عالية للحريق مثل الركام الخفيف الوزن (خبث الأفران - الفورموكليت - كسر الطوب ... إلخ) يليها كسر الحجر الجيرى ثم يأتى بعد ذلك ركام الرمل والزلط.

٤- نوع الأسمنت وكميته : إذا تعرض الأسمنت بالخرسانة (أى الذى شك وتصلد) إلى الحرارة العالية فإنه - نظراً لإحتوائه على الماء- ينكمش ثم يتمدد بعد ذلك مما يسبب تفتت للخرسانة نتيجة لتوصيلها الردئ للحرارة مما يؤدى إلى فرق كبير فى الحرارة بين خارج الخرسانة وداخلها مما يولد إجهادات تسبب شروخ وتفتت للخرسانة.

وتؤثر الحرارة العالية تأثيرا سيئاً فى حالة الأسمنت البورتلاندى نظراً لوجود الجير الحر الذى يتكلس ويعاود الإتحاد مع الماء مما يسبب الزيادة فى الحجم وبالتالى تشريخ الخرسانة فكلما قل الجير الحر بالأسمنت كلما تحسنت مقاومته للحريق. فالأسمنت الحديدى أو الأسمنت العادى المخلوط بالمواد البوزولانية أفضل من الأسمنت البورتلاندى العادى. أما الأسمنت الألومينى فيعتبر أحسنها من هذه الوجهة نظراً لعدم احتوائه على الجير الحر. وتعتبر أكثر أنواع الخرسانة مقاومة للحريق هى تلك المصنوعة من أسمنت ألومينى و ركام خفيف أو ركام من كسر الطوب الحرارى.

وعلى اى حال فإنه يمكن إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى فى عمل الخرسانة المقاومة للحرارة حتى درجة ١٥٠ درجة مئوية بشرط أن تُعمل الإحتياطات لتسخين الخرسانة تدريجياً ويكون التغير فى درجة الحرارة بطيئا. أما إذا تعرضت الخرسانة لحوالى ١٠٠٠ درجة مئوية كما فى بعض المنشآت مثل أساسات الأفران والمراجل فإننا نستخدم الخرسانة المكونة من الأسمنت الألومينى و ركام كسر الطوب الحرارى.

١١-٩ تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن Guaranty & Insurance

نص الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة لسنة ٢٠٠١ على بعض الإعتبارات و التوصيات التى تكفل وتضمن تحمل الخرسانة مع الزمن. فعلى الرغم من إستفاء الخلطة الخرسانية للمقاومة فإنه يلزم تأمين مقاومتها مع الزمن بأخذ مجموعة من العوامل المتداخلة فى الإعتبار على النحو التالى:

١- الحد الأقصى لمحتوى الأملاح والمواد الضارة فى ماء الخلط:

يشترط فى ماء خلط الخرسانة أن لايزيد محتوى الأملاح عن الحدود الموضحة فى جدول (١١-٢).

جدول (١١-٢) الحد الأقصى لمحتوى الأملاح والمواد الضارة فى ماء الخلط.

نوع الملح	الحد الأقصى جرام فى اللتر
الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S.)	٢,٠
أملاح الكلوريدات على هيئة Cl^-	٠,٥
أملاح الكبريتات على هيئة So_3	٠,٣
أملاح الكربونات و البيكربونات	١,٠
كبريتيد الصوديوم	٠,١
المواد العضوية	٠,٢
المواد غير العضوية وهى الطين والمواد المعلقة غير الرسوبية التى تعكر ماء الخلط	٢,٠

٢- الحد الأقصى لمحتوى أيونات الكلوريدات فى الخرسانة

للوقاية من الصدأ يجب ألا يزيد التركيز الكلى لأيونات الكلوريدات الذائبة فى الخرسانة المتصلدة (والناتج من الماء والركام والأسمنت والإضافات) عند عمر ٢٨ يوما عن الحدود الواردة فى جدول (١١-٣).

جدول (١١-٣) المحتوى الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة اللازمة للوقاية من الصدأ .

الحد الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة فى الخرسانة المسلحة كنسبة مئوية من وزن الأسمنت	الظروف حول الخرسانة
٠,١٥	الخرسانة المسلحة معرضة للكلوريدات.
٠,٣٠	الخرسانة المسلحة غير المعرضة للكلوريدات.

٣- الحد الأقصى لمحتوى الكبريتات فى الخرسانة

يجب ألا يزيد المحتوى الكلى للكبريتات فى الخرسانة على هيئة كب أ٣ على ٤% من وزن الأسمنت.

٤- الحد الأقصى لمحتوى الأسمنت

يجب ألا يزيد محتوى الأسمنت فى خلطة الخرسانة عن ٤٥٠ كج/م٣ ما لم تكن هناك إعتبارات خاصة قد أخذت فى التصميم لتفادى التشريخ الناتج عن أنكماش الجفاف فى قطاعات الخرسانة الرقيقة أو الإجهادات الحرارية فى القطاعات السميكة.

٥- الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت & الحد الأدنى للمقاومة المميزة & الحد الأقصى لنسبة م/س

عندما تكون الخرسانة معرضه لظروف معينة مع إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى فإنه يمكن الإسترشاد بالجدول رقم (١١-٤) لتحديد الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت فى الخلطات.

جدول (١١-٤) الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت وللمقاومة المميزة فى خلطات الخرسانة المسلحة.

الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كج/م٣ * المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم) ٤٠	٣٠	٢٠	١٠	الحد الأقصى لنسبة الماء/ الأسمنت	الحد الأدنى للمقاومة المميزة كج/سم٢
عادية: الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة.	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٠,٥٠	٢٥٠
متوسطة:الخرسانة غير المعرضة أو المعرضة للظروف المحيطة الضارة ولكنها مدفونة دائماً تحت الماء.	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٠,٤٥	٣٠٠
قاسية:الخرسانة معرضة لظروف محيطة ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل والجفاف أو الغازات... إلخ.	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٥٠	٠,٤٠	٤٠٠

* الحدود الواردة بالجدول لخلطات الخرسانة المسلحة المستخدمة ويمكن تخفيض أى محتوى أسمنت بمقدار ٥٠ كج/م٣ فى حالة أستعمالها لخلطات الخرسانة العادية (غير المسلحة).

** إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر للركام يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول فيؤخذ محتوى الأسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

*** يمكن إستخدام إضافات الملدنات أو الملدنات الفائقة لتقليل نسبة ماء الخلط والحفاظ على القوام المطلوب.

٦- الخرسانة فى الظروف الكبريتية

عندما تكون الخرسانة معرضة لأملاح الكبريتات فى التربة أو المياه الجوفية (كبريتات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم) فإنه يجب العناية بنوع الأسمنت ومحتواه ونوع الركام والمقاس الإعتبارى الأكبر للركام ونسبة الماء إلى الأسمنت ويمكن الإسترشاد بالقيم الواردة بجدول (١١-٥) لتحديد هذه البنود.

جدول (١١-٥) متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكبريتات.

تركيز الكبريتات صورة ثالث أكسيد الكبريت (كب أ٣) – التربة – كب أ٣ الكلى %	التربة – كب أ٣ مزيج من الماء والتربة بنسبة ٢:١ جم/لتر	الماء الأرضى – جزء فى المليون	نـوع الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت - كج/م٣ – المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم) – ٤٠	٣٠	٢٠	١٠	الحد الأقصى لنسبة م/س	الحد الأدنى للمقاومة المميزة كج/سم٢
< ٠,٢	< ١,٠	< ٣٠٠	بورتلاندى عادى	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٠٠	٠,٥٢	-
٠,٢ - ٠,٣٥	١,٠ - ١,٥	٣٠٠ - ٧٠٠	بورتلاندى عادى مقاوم للكبريتات	٣٥٠ ٣٠٠	٣٥٠ ٣٠٠	٤٠٠ ٣٥٠	٤٠٠ ٣٥٠	٠,٤٨ ٠,٥٣	٢٥٠ ٢٥٠
٠,٣٥ - ٠,٥٠	١,٥ - ١,٩	٧٠٠ - ١٢٠٠	مقاوم للكبريتات	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٠٠	٠,٥٠	٣٠٠
٠,٥٠ - ١,٠	١,٩ - ٣,١	١٢٠٠ - ٢٥٠٠	مقاوم للكبريتات	٤٠٠	٤٠٠	٤٥٠	٤٥٠	٠,٤٥	٣٥٠
١,٠ - ٢,٠	٣,١ - ٥,٦	٢٥٠٠ - ٥٠٠٠	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	٤٠٠	٤٠٠	٤٥٠	٤٥٠	٠,٤٣	٤٠٠

و ب ملاحظة الآتى:

* ا دود الواردة با دول تطبق على ا رسانة بركام طبيعى (م.ق.م ١٩٧١/١١/٩) كما يطبق على ا رسانة فرب ا ياه الأرضية بأس هيدروجي من ٦ إ ٩ و توية على ك يتات طبيعية وليست مترسبة كأملاح.

** إذا كان ا قاس الإعتبارى الأك للركام يقع ب قيمة مذكورة ا دول فيؤخذ توى الأ نت ا ناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

*** الظروف القاسية مثل القطاعات الصغ ة ت ضغط مائى من جانب واحد أو مغمورة جزئيا يلزم أن يؤخذ الإعتبار تقليل نسبة ا اء للأ نت و/ أو زيادة توى الأ نت عن ا دود الواردة با دول لتحقيق أقل منفذية كنة للخرسانة.

٧- الخرسانة فى المعرضة للمهاجمة المزدوجة بالكبريتات والكلوريدات

قد تتعرض الخرسانة المسلحة لظروف المهاجمة بتركيزات عالية من الكبريتات والكلوريدات معاً ويكون ذلك إما فى ماء البحر أو الماء الجوفى أو تربة السبخة أو غير ذلك. وفى مثل هذه الظروف يلزم إتخاذ إحتياطات أخرى بالإضافة لتلك الإحتياطات الخاصة بالحد الأقصى لنسبة الماء إلى الأسمنت والحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كما هو وارد بجدول (١١-٤). من الإحتياطات الإضافية زيادة الغطاء الخرسانى بحيث لايقل ٧ سم للخرسانة المعرضة للبلل والجفاف ولايقل عن ٥ سم للخرسانة المغمورة. كما يجب أن يستخدم نوع أسمنت تتراوح نسبة ألومينات ثلاثى الكالسيوم به بين ٦% و ١٠% ويمكن إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى الذى يفى بهذه النسب أو إستخدام الأسمنت عالى الخبث. كما يجب التأكد من أن الركام المستخدم خامل ولا يتفاعل مع قلويات الأسمنت.

٨- الخرسانة فى الظروف الحمضية

يجب الإهتمام بمكونات وصناعة الخرسانة فى حالة التعرض لظروف حمضية ذات أس هيدروجينى أقل من ٧ . يلزم لذلك زيادة الغطاء الخرسانى وإستخدام دهانات أو تغطيات مناسبة واقية من الأحماض ، كما يجب زيادة محتوى الأسمنت وتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت وعمل دمك كامل للخرسانة. ويكون ذلك فى حالتى إستخدام أسمنت بورتلاندى عادى أو مقاوم للكبريتات. أما فى حالة وصول قيمة الأس هيدروجينى ٥,٥ أو أقل فتتخذ إحتياطات أكثر فى الحماية كما يفضل إستخدام أسمنت عالى الخبث.

٩- التفاعل القلوى للركام Alkali - Aggregate Reaction

يوجد نوعان من التفاعل القلوى للركام هما التفاعل القلوى مع السليكا و التفاعل القلوى مع الكربونات والنوع الأول أكثر إنتشاراً. ومشكلة التفاعل القلوى للركام أنه قد لايظهر إلا بعد زمن طويل ، كما أنه لا يوجد حتى الآن إختبار سريع ودقيق يمكن من خلاله معرفة إذا كان خلط ركام معين مع أسمنت معين بنسبة معينة سيؤدى إلى ظهور هذه المشكلة أم لا ، ونفس الوقت لاتوجد طريقة محددة للعلاج الدائم لهذه الظاهرة. وعلى أى حال فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية (٢٠٠١) قد تعرض لهذه الظاهرة وذكر بعض الإحتياطات الخاصة فى هذا الصدد:

أ- التفاعل القلوى مع السليكا Alkali - Silica Reaction

حيث تحتوى بعض أنواع الركام على أنواع مختلفة من السليكا النشطة مثل الأوبال والكرستوباليت التى قد تتفاعل كيميائياً مع القلويات الموجودة أصلاً فى الأسمنت وغيره مثل أكسيد الصوديوم (Na_2O) وأكسيد البوتاسيوم (K_2O). وقد ينتج عن هذه التفاعلات مواد جيلاتنية تنتفش عند إمتصاصها للماء مما يؤدى إلى حدوث إجهادات داخلية فى الخرسانة قد تسبب تشققها أو تفتتها. وللحد من خطر التفاعل القلوى مع السليكا يمكن إتباع ما يلى:

١- إستعمال أسمنت بورتلاندى يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تتجاوز ٠,٦% محسوبة على هيئة أكسيد صوديوم (Na_2O).

٢- تحديد محتوى القلويات المكافىء لأكسيد الصوديوم (Na_2O) فى الخلطة الخرسانية بما لايزيد على ٣,٠ كج/م٣.

٣- إحلال جزء من الأسمنت فى الخلطة الخرسانية بمواد بوزولانية وذلك بعد الرجوع إلى مصادر متخصصة لتحديد كمية البوزولانا و مدى فاعليتها.

٤- العمل على تقليل نفاذ الماء إلى الخرسانة بإستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

ب- التفاعل القلوى مع الكربونات Alkali - Carbonate Reaction

قد تتفاعل بعض أنواع الركام من الحجر الجيرى الدولوميتى (Dolomitic limestone) مع القلويات فى الأسمنت منتجة مركبات تؤدى -مع مرور الوقت- إلى حدوث تمدد يؤدى بدوره إلى ظهور شروخ بالخرسانة تؤثر على تحملها مع الزمن. ويجب عند إكتشاف هذه الظاهرة فى الركام إستبعاده من الإستخدام أو إستخدامه مع أسمنت لاتزيد نسبة القلويات فيه على ٠,٤%. ونظراً لأن هذه الظاهرة تتأثر بالتركيب المعدنى للركام ونسبة الكالسيت إلى الدولوميت فإنه يجب الرجوع إلى جهات متخصصة لتعيين مدى تأثير هذه الظاهرة.

****



****

References المراجع

١- "الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة" كود رقم ٢٠٣ - التحديث الثانى ٢٠٠١- وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية - مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني. جمهورية مصر العربية.

٢- "المواصفات العامة لبنود أعمال العزل الحراري" الطبعة الأولى ١٩٩٨ - وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية - مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني. جمهورية مصر العربية. ١٣٧ صفحة.

٣- أحمد العريان و عبد الكريم عطا "تكنولوجيا الخرسانة" ١٩٦٧ الناشر: عالم الكتب، القاهرة - الجزء الأول ٤٩٥ صفحة و الجزء الثانى ٤٥٥ صفحة.

٤- إبراهيم على الدرويش ، على إبراهيم الدرويش "الخرسانة - موادها وصناعتها و ضبط جودتها وترميمها" ٢٠٠٠ الناشر: شركة الجلال للطباعة - ثلاثة أجزاء.

٥- شريف أبو المجد ، عمرو سلامة ، منير كمال و شادية الإبيارى "تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها" ١٩٩٣ ، دار النشر للجامعات المصرية - القاهرة - ٧١٩ صفحة.

٦- محمود إمام ، أحمد عبد الرحيم ، عمرو شحاتة "خرسانة مقاومة للحرارة للبناء فى المناطق الصحراوية" ندوة التنمية العمرانية فى المناطق الصحراوية ومشاكل البناء بها ، مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب ، جامعة الدول العربية ، وزارة الأشغال العامة والإسكان السعودية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، نوفمبر ٢٠٠٢ ، المجلد الثالث ، الصفحات ٦٢١-٦٣١.

7- Ken W. Day "Concrete Mix Design, Quality Control and Specifications" 1995, Chapman & Hall, London, UK, 350 pp.

8- N. Krishna Raju "Design of Concrete Mixes" 1994, CBS Publishers & Distributors, Delhi, India, 127 pp.

9- Portland Cement Association "Principles of Quality Concrete" 1975, John Wiley & Sons, Inc., USA, 312 pp.

10- M.R. Rixom and N.P. Mailvaganam "Chemical Admixtures for Concrete" Second Edition 1986, Published by E. & F.N. Spon Ltd., USA, 306 pp.

11- ASTM 169 A "Tests and Properties of Concrete and Concrete -Making Materials"1966, American Society For Testing And Materials, USA, 571 pp.

12- A. M. Neville "Properties of concrete" Third Edition 1981, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London, 779 pp.

13- Armin Petzold and Manfred Rohrs "Concrete for High Temperatures" 1970, Maclaren and Sons, London, UK, 235 pp.

14- A. Megahid "Concrete for Engineers" 1988, Assiut Press, Assiut University, Egypt, 440 pp.

15- R. H. Elvery “Concrete Practice” Volume Two, 1963, C.R. Books Ltd., London, UK, 331 pp.

16- George Troxell, Harmer Davis, and Joe Kelly “Composition and Properties of Concrete” 1968, McGraw Hill, New York, 529 pp.

17- John L. Clarke “Structural Lightweight Aggregate Concrete” 1993, Chapman & Hall, Glsgow, UK, 240 pp.

18- H.R. Sasse, “Adhesion Between Polymers and Concrete” 1986, Proceedings of an International Symposium, RILEM Committee 52, Chapman & Hall, USA, 755 pp.

19- VanGemert, Vanden Bosch , and Ladang “Design Method for Strengthening Reinforced Concrete Beams and Plates” Second Edition, 1990, Report 32-ST-17, University of Leuven, Belgium, 78 pp.

20- Ted Kay “Assessment & Renovation of Concrete Structures” 1992, Longman Group, UK, 224 pp.

21- J. Singleton-Green “Concrete Engineering” Volume 2, 1935, Charles Griffin And Company, London, 261 pp.

22- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Proportioning and Properties of Very High Strength Concrete With and Without Steel Fibres" 1993, Proceedings of the International Conference "Concrete 2000", Dundee, Scotland, pp. 1693-1705.

23- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Shear Capacity of Steel Fiber High Strength Concrete Beams" 1994, ACI, SP 149-13, USA, pp 227-241.

24- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Are Current Concrete Strength Tests Suitable for High Strength Concrete?" 1995, Materials and Structures, Rilem, No. 28, pp 384-39.

25- M. Imam, L. Vandewalle, F. Mortelmans, and D. Van Gemert "Shear Domain of Fibre Reinforced High Strength Concrete Beams" 1997, Journal of Engineering Structures, Vol. 19, No. 9, pp 738-747.

26- M. Imam "How to Improve the Tensile Capability of High Strength Concrete?" 1996, International conference "Concrete in the Service of Mankind", Scotland, UK, pp323-330.

27- M. Imam, and L. Vandewalle "How Efficient are steel Fibres in High Strength Concrete Beams?" 1996, Fourth International Symposium on "Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete", Paris, France, Vol. 3, pp1067-1076.

28- M. Imam “It is a Time to Utilize High Strength Concrete in Egypt” 1996, Third International Conference for Building & Construction, Inter-Build 96, Cairo, pp973-982.

29- M. Imam and Y. Agag “How Efficient is High Strength Concrete in Beams” Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 24, No. 2, June 1999, pp C33-C45.

30- M. Amin “High Strength Concrete in Egypt .. How and Why?” Master Thesis - Structural Engineering Dept., Mansoura University, Sept. 1999, 156 pp.

31- M. Imam "Flexural Strength and Toughness of Steel Fiber High Strength Concrete" 1997, American Concrete Institute, ACI, SP 172-28, pp 517-533.

32- M. Imam "Mixing Water or Reinforcing Bars?" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 191-199.

33- M. Imam "Longitudinal Bars-Fibres Interaction in High Strength Concrete Beams Without Stirrups" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 503-511

34- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and M. Amin "High Performance Concrete With Local Materials in Egypt" 1998, Structural Engineering World Congress SEWC, San Francisco, USA, T209-6

35- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and M. Amin "Utilization of Silica Fume in Egypt" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 99-108.

36- M. Imam, M. Amin, and A. Abdel-Reheem "Benefits of Superplasticizers" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 109-118..

37- M. Imam, A. Abdel-Reheem, Y. Abou-Mosallam, and A. Shihata, "Acoustic and Thermal Insulation of Lightweight Concrete" Eighth Arab Structural Engineering Conference, Faculty of Engineering, Cairo University, 2000, pp 1559-1569.

38- M. Imam "Controlling the Workability of High-Performance Concrete" Fourth Alexandria International Conference on Structural and Geotechnical Engineering, Faculty of Engineering, University of Alexandria, Alexandria, 2001, pp 629-639.

39- M. Imam "Self-Compacting Concrete; How to Produce it?" Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 26, No. 3, September 2001, pp C19-C34.

40- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and A. Elmenshawi "One Day Instead of 28 Days for Achieving Concrete Strength" International Conference on Performance of Construction Materials in the New Millennium, Organized by the University of Calgary, Canada, and the University of Ain Shams, February 2003, Cairo, Egypt, Vol. 1, pp 319-328.

41- M. Imam, "Evaluation of Antiwashout Admixtures for Use in Underwater Concrete" Journal of Engineering and Applied Science, Faculty of Engineering, Cairo University, Vol. 51, No. 1, Feb. 2004, pp. 67-83.

42- M. Imam, A. Elmenshawi, and A. Abdel-Reheem "Non-Traditional Concrete for Minimizing The Construction Period" International Symposium of Housing (2), Affordable Dwelling, High Commission for the Development of Arriyadh, March 2004, Riyadh, Kingdome of Saudi Arabia, pp. 869-882.

43- M. Imam, A. Tahwia, A. Elagamy, and M. Yousef "Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened With Carbon Fiber Strips" Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 29, No. 3, September 2004, pp C22-C40.

44- M., Imam, F. Salem, and M. Tantawy, "Fracture Mechanics of Fibrous High Strength Concrete" Scientific Bulletin, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Vol. 40, No. 1, March 31, 2005, pp 213-234.

****

تصميم الخلطات الخرسانية

البحث من اعداد

المهندس المدنى المجاز باسل حمودي حمد

من متطلبات الحصول على درجة مهندس استشاري في الهندسة المدنية

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

تصميم الخلطات الخرسانية يعني تحديد القيم النسبية لمكوناتها بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين . ويكون ذلك باستخدام نسب ثبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية وقد يكون بطرق حسابية مبنية على اساس فني تتصمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة في الخرسانة المتصلدة (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبري) والاشتراطات التي تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب والتسوية النهائية (التشطيب) لسطح الخرسانة . وذلك مع مراعات التكاليف الاقتصادية حسب نوع العمل الانشائي المطلوب , وهذه الطرق الحسابية تهدف الى استخدام المواد الموجودة لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطرية والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف ويمكن اعتبار ان مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط عن مدى جودة الخرسانة الطرية .

ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الخرسانة وعلى اقتصاديات المشروع . فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة في جودتها وثمنها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس المواد . ويعتمد الاقتصاد النسبي للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات . ويعتبر الاسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذي تؤثر نسبة وجودته في الخلطة تأثيرا كبيرا على تكاليفها نظرا لارتفاع ثمنه بالنسبة لباقي مكونات الخلطة , وهنا مضافات اخرى للخلطة الخرسانية عدا المكونات الأساسية للخرسانة (الركام الخشن والركام الناعم وعجينة الأسمنت) , والمضافات عادة يتم استخدامها للحصول على صفات معينة للخرسانة في حالتيها الطرية والمتصلبة وسوف يتم التطرق بشيء من التفصيل عن مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية والمضافات الخرسانية الأخرى من خلال الفصل الاول للبحث والفصل الثاني سيكون فيه تفاصيل عن تصميم الخلطات الخرسانية والطرقة المستخدمة في تصميم الخلطات الخرسانية ذات المقاومة العادية والخلطات الخرسانية عالية المقاومة .

المحتويات

الفصل الاول

1- مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية .
2- المضافات الخرسانية .

الفصل الثاني

1- كيفية تحديد وبيان نسب ومكونات الخلطة الخرسانية .
2- العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية .
3- - طرق تصميم الخلطات الخرسانية .
4- تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

الفصل الاول

مكونات الخلطة الخرسانية

مكونات الخلطة الخرسانية الأساسية هي الأسمنت والركام (ركام ناعم وركام خشن) والماء وفي حالات اخرى ممكن ان يكون لدينا هناك مكونات اخرى للخلطة الخرسانية وهي المضافات الكيميائية حيث يتم استخدامها لغرض تحسين بعض الصفات للخرسانة وسوف نتناول بشيء من التفصيل المكونات المذكورة في اعلاه لتتكون لدينا صورة واضحة عن تلك المكونات التي نتعامل معها طوال حياتنا العملية وكما يلي :-

اولا :- مكونات الخلطة الأساسية :-

1- الأسمنت

كما هو معروف فان مادة الأسمنت لها خواص تلاصقية ومن خلال هذه الخاصية تتمكن من ربط الأجزاء او المكونات الأخرى للخلطة الخرسانية بكتلة صلبة . والتفاعل الكيميائي بين الماء والأسمنت وهو مايسمى بعملية الأماهة هي التي تعطي الخواص التلاصقية لعجينة الأسمنت الناتجة عن التفاعل ومركبات الأسمنت الأساسية هي أربعة :-

1- سليكات ثنائي الكالسيوم – C2S

2- سليكات ثلاثي الكالسيوم – C3S

3- الومينات ثلاثي الكالسيوم – C3A

4- الومينات حديد رباعي الكالسيوم – C4AF

ومقاومة الأسمنت مسؤول عنها بصورة رئيسية مركب سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم والمركب سليكات ثلاثي الكالسيوم يشارك بدرجة كبيرة في المقاومة المبكرة خلال ال28 يوم الأولى أما مركب سليكات ثلاثي الكالسيوم فله دور في اكتساب المقاومة بعد ال28 يوم الأولى وبعد مرور سنة يتساوى المركبان في تطوير المقاومة ,

اما المركبان الومينات ثلاثي الكالسيوم والومينات حديد رباعي الكالسيوم فلهما تأثير اقل على المقاومة مع ان الومينات ثلاثي الكالسيوم له دور في زيادة المقاومة المبكرة .

وبالأعتماد على نسب المركبات الأساسية الواردة الذكر يمكن انتاج انواع عديدة من الأسمنت البورتلاندي ومن هذه الأنواع :-

1. **الأسمنت البورتلاندي العادي .**
2. **الأسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة .**
3. **الأسمنت البورتلاندي سريع التصلب .**
4. **الأسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات .**

وهذه الأنواع لكل منها خواصه واستعمالاته .

2- الركام

خواص الركام لها الدور الكبير في تحديد قوة ومتانة الخرسانة حيث ان الركام يمثل بحدود 75% من الحجم الكلي للخلطة الخرسانية .

والركام يصنف الى ركام خشن وركام ناعم , والركام الناعم هو الذي يمر من منخل رقم 4 والمقصود به هو المنخل الذي فيه اربعة فتحات لكل انج طول والركام الخشن هو الذي لايمر من من خلال منخل رقم 4 .

وكثافة الخرسانة التي يستعمل فيها ركام طبيعي هي بحدود 2300 كغم \م3 .

ثانيا :- المضافات الخرسانية

اولا :- هي مواد تضاف الى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط وبكميات قليلة جدا لغرض اعطاء الخرسانة الطرية او الخرسانة المتصلبة خواص معينة وكما يلي :-

1. **تحسين القدرة على ضخ الخرسانة .**
2. **زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة .**
3. **تحسين قابلية التشغيل للخرسانة الطرية بدون اضافة ماء يتجاوز النسبة التصميمية .**
4. **التعجيل او التاخير في زمن التصلب .**
5. **الحد من حدوث الانفصال الحبيبي .**
6. **تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البري .**
7. **الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة خلوية أو خرسانة ذات صفات خاصة .**
8. **الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية .**

ثانيا :- هناك شروط يجب الالتزام بها في حالة استخدام المضافات الخرسانية وهي :-

1- **من الضروري جدا ان لايكون لها تاثيرا ضارا على الخرسانة او حديد التسليح .**
2- **ضرورة التاكد من مدى ملائمة وفاعلية الأضافات المستخدمة بواسطة خلطات تجريبية .**
3- **في حالة استخدام نوعين او اكثر من المضافات في نفس الخلطة الخرسانية يجب ان تتوفر معلومات مفصلة وواضحة عن مدى تداخلهما والتوافق فيما بينهم .**
4- **يجب عدم اضافة كلوريد الكالسيوم او الاضافات التي اساسها من الكلوريدات بتاتا الى الخرسانة المسلحة او الخرسانة مسبقة الجهد او الخرسانة بها معادن من ضمنها .**
5- **من الضروري ان يكون هناك تناسب بين الفوائد الناتجة من استخدام الاضافات مع الزيادة في التكاليف .**
6- **يجب ان يتم توريد المضافات الخرسانية على شكل عبوات داخل براميل او اوعية مغلقة باحكام وان يكون مكتوب عليها بالتفصيل نوع المادة واسمها التجاري وتاريخ الأنتاج ومدة الصلاحية بالاضافة الى خواص المادة ومدى مطابقتها للمواصفات القياسية المعمول بها , وضرورة تخزين المادة بطريقة تحميها من اشعة الشمس والحرارة والرطوبة .**

ثالثا :- هناك العديد من المضافات الكيميائية التي يتم استخدامها مع الخرسانة وتقسم الى المجموعات التالية :-

1- **اضافات الهواء المحبوس .**
2- **اضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة .**
3- **اضافات لتلوين الخرسانة .**
4- **اضافات لمقاومة اجتراف الأسمنت بفعل الماء .**
5- **اضافات تخفيض نسبة الماء والتحكم في التصلب (يوجد منها سبعة انواع)**
6- **توجد اضافات اخرى مختلفة .**

وهناك تفاصيل كثيرة اخرى عن موضوع المضافات السابقة الذكر وهنا تم التطرق اليها باختصار واعطاء نبذة مختصرة عن انواعها والأغراض الأساسية لاستخدامها .

الفصل الثاني

تصميم الخلطات الخرسانية

1- كيفية تحديد وبيان نسب ومكونات الخلطة الخرسانية

أ- الخلطة الخرسانية مكوناتها من المواد الحبيبية وهي الاسمنت والركام الصغير والركام الكبير عادة على هيئة نسب بالوزن او بالحجم فمثلا يقال خلطة بنسبة 1:2:4 هذه معناها

الاسمنت : 1   الرمل : 2   الحصى : 4

أي تحتوي على جزء من الاسمنت وجزئين من الرمل وأربعة أجزاء من الحصى , وتفضل ان تكون تلك النسب بالوزن لعدم امكانية التحديد الدقيق لكمية الأسمنت بالحجم وأيضا الركام نتيجة تغير الكمية التي يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الحدل المستخدم . كما أن الركام الصغير قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم بالرطوبة .

ب- وقد تبين المواد الحبيبية كنسبة بين الأسمنت وستة أجزاء ركام بالوزن وتبين هذه النسبة مدى غنى او افتقار الخرسانة فالخلطة بنسبة 1:4 تعتبر خلطة غنية أما الخلطة بنسبة 1:8 تعتبر خلطة فقيرة .

ج- وقد تبين نسب المواد الحبيبية بما يحويه المتر المكعب من الخرسانة الطرية من الاسمنت والركام الصغير والركام الكبير على أن يبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلا لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا نسب الخلط .

أسمنت = 300 كيلوغرام   رمل = 0.4 متر مكعب   وحصى = 0.8 متر مكعب

ومجموع هذه الكميات يعطي تقريبا متر مكعب من الخرسانة الطرية بعد خلطها بالماء

د- كما يمكن ان يتم التعبير عن الأسمنت بعدد الاكياس للمتر المكعب من الخرسانة الطرية وهذا العدد يسمى معامل الاسمنت فمثلا خلطة يحتوي المتر المكعب منها على 6 اكياس اسمنت (وزن الكيس الواحد 50 كيلو غرام) وخلطة اخرى يحتوي المتر المكعب منها على 8 اكياس أو خلطة فقيرة يحتوي المتر المكعب منها على 4 اكياس .

أسمنت = 6 اكياس   رمل= 0.4 م3   حصى= 0.8 م3

هـ - تبين كمية الماء اللازمة الماء للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت = 0,5 بالوزن , فاذا علم وزن الأسمنت في المتر المكعب للخرسانة

الطرية أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لأجراء الخلط وبالتالي يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر .
وأحيانا قد تبين كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطرية مباشرة فمثلا :-
الاسمنت = 300كغم و الرمل =0,4م3 والحصى = 0,8م3 والماء = 150 لتر
أي أن المتر المكعب من الخرسانة الطرية لهذه الخلطة يلزم له 300 كغم اسمنت (6 أكياس) و150 لتر ماء , وتحسب الكميات المطلوبة من المواد لأي خلطة تبعا لعدد الأمتار المكعبة الكلية من الخرسانة الطرية .
و- يتم بيان كمية الاضافات ان وجدت على أساس أنها نسبة مئوية من وزن الأسمنت المستخدم بالخلطة فمثلا خلطة :
الاسمنت = 300كغم و رمل = 0,4م3 و حصى = 0,8 م3 وماء = 150 لتر
بها 2% ملدنات يعني ان وزن الملدنات المستخدمة = 300*0,02 = 6 كيلوغرام للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة

2- العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية

تتكون الخرسانة من عجينة اسمنتية (نشطة) وركام (خامل) وتعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث ان مقاومة الركام كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة العجينة . ولذلك فان انهيار الخرسانة التقليدية يكون دائما في العجينة ويمر الشرخ حول الركام . فاذا أمكننا انتاج عجينة ذات مقاومة عالية جدا تقترب من مقاومة الركام فاننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة والتي يكون الانهيار فيها مفاجىء حيث يمر الشرخ بالركام (وليس حوله) .
وهنا لابد من الاشارة الى ان تشغيلية الخرسانة تنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة . كما تعتمد نفاذية الخرسانة للسوائل على وجود واستمرار العجينة الأسمنتية . وبالأضافة الى ذلك فان انكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس الركام .
والعجينة الاسمنتية تكون عبارة عن معلق للاسمنت في الماء (شكل5-2)وكلما خفت درجة تركيز يوضح ان مقاومة الضغط للخرسانة دالة عكسية مع نسبة الماء الى الاسمنت (م/س).وعندما تبدا عملية الاماهة للاسمنت فيتكون الجل من الماء ومن مادة سطح حبيبات الاسمنت والذي قد يصل حجمه الى ضعف حجم الاسمنت الناتج منه .وهكذا مع استمرار الاماهة يستمر تكون الجل حول كل حبيبة حتى يتصل الجل ببعضه مكونابنية العجينة.

3- طرق تصميم الخلطات الخرسانية

أولا :- الطريقة الوضعية

تحدد هذه الطريقة نسبا لمكونات الخرسانة نتيجة الخبرة السابقة للاستعمال بنجاح .وقد اثبتت هذه الطريقة ملائمتها وصلاحيتها للعمليلت الصغيرة نظرا لسهولتها حيث تعطي المواد الصلبة (الاسمنت ,الرمل,الحصى)على هيئة نسب بالوزن او الحجم وقد تحدد كمية الماء اللازم او تترك لمراعاتها اثناء الخلط بحيث نحصل على خلطة لدنة سهلة التشغيل .ونسب مكونات الخرسانة بالوزن المستخدمة عادة في المنشآت طبقا لنوع الخرسانة او طبقا لمقاومة الخرسانة للضغط هي كما يلي

	الاسمنت	الرمل	الحصى	
خلطة غنية ذات مقاومة عالية	1	1	2	أي ان الأسمنت 1 والركام 3
خلطة متوسطة	1	2	4	أي ان الأسمنت 1 والركام 6
خلطة فقيرة ذات مقاومة منخفضة	1	3	5	أي ان الأسمنت 1 والركام 8

وذلك على اساس ان الركام مناسب والماء أقل ما يمكن لجعل الخلطة ذات قوام مناسب لتكون لدنة .والنسب الوضعية المستخدمة

الأسمنت = س كغم رمل = 0.4 م3 حصى = 0.8 م3

مع كمية الماء المناسبة والمعقولة والتي تتراوح قيمة الماء كنسبة من الاسمنت (م/س)من 0,4 الى 0,7 بالوزن ويحدد كميتها طبيعة العمل .اما كمية الاسمنت (س)فيحددها نوع العمل والخلطة اللازمة له هل هي غنية او فقيرة حيث تتراوح كمية (س)من 200الى 400 كيلو جرام اي من 4الى 8 اكياس للمتر المكعب من الخرسانة .ويحدد كمية الاسمنت وكمية الماء المهندس المسئول عن مواصفات العملية تبعا لطبيعتها .

وعيوب هذه الطريقة تتلخص في النقاط الآتية :-

1- نسبةالماء /الاسمنت (م/س)غير محددة ومتروكة لظروف العمل .

2-النسبة المذكورة لا تعطي مترا مكعبا في جميع الحالات وقد يصل الحجم احيانا الى 1,2متر مكعب .

3-نسبة الرمل /الحصى شبه ثابتة وهي 1:2مع ملاحظة اهمال نوع الركام وتدرجه والمقاس الاعتباري الاكبر له وكذلك اهمال معايير النعومة للرمل .

4-لايمكن الحصول على بيانات صحيحة لخواص الخرسانة الناتجة وكذلك لا يمكن توقع قيمة دقيقة

لمقاومة الضغط لهذه الخرسانة .

ثانيا:طريقة المحاولة

تعتمد هذه الطريقه على معرفة نسبة م/س في الخلطة الخرسانية ويلزم عمل اختبارات مقارنة بين المواد المختلفة والخلطات المتباينة . وتتطلب هذه الطريقة وجود عينات من الاسمنت والحصى والرمل كما يجب تحديد نسبة م/س وكذلك المقاومة المطلوبة . وفيما يلي ملخص لخطوات تصميم خلطة خرسانية بطريقة المحاولة :

-تؤخذ كمية من الاسمنت في حدود 2,5 كغم (5% من وزن الكيس)

- تحدد نسبة (م/س)من الخبرة او من المنحنيات البيانية او من الجداول .

- يخلط الاسمنت والماء لتكوين عجينة الاسمنت المكونة من ا,ب.

- تحضر كمية من الرمل الحصى ويفضل استخدام الركام المشبع والسطح جاف كما يراعى الا يزيد المقاس الاعتباري الاكبر عن 5/1البعد الاصغر للمقطع وان لا يزيد عن 4/3المسافة بين اسياخ حديد التسليح(ايهما اصغر).

- يضاف تدريجيا كميات من الرمل والحصى وتخلط الخلطة جيدا ثم يحدد قوام الخرسانة الى ان تصل الى الخلطة التي تعطي القوام المطلوب.

- توزن بعد ذلك الكميات المتبقية ومنها تحسب الاوزان المستعملة .

- تحسب الكميات بالوزن والحجم المطلوبة لعمل خلطة الخرسانة لموقع العمل .

ثالثا:طريقة الحجم المطلق

تفترض هذه الطريقة ان الحجم المطلق للخرسانة هو مجموع الحجوم المطلقة للمواد المكونة للخرسانة اي الحجم المطلق للاسمنت والرمل والحصى والماء كما يلي :

Absolute volume = C/Gc +S/Gs + G/Gg + W/1.0 = 1000 Liters-: حيث

C = وزن الأسمنت بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

S = وزن الرمل بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

G = وزن الحصى بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

W = وزن الماء بالكيلوغرام اللازم للمتر المكعب من الخرسانة .

Gg , Gs , Gc = الوزن النوعي للأسمنت والرمل والحصى على التوالي علما بأن واحد متر مكعب من الخرسانة = 1000 لتر .

وفي هذه الطريقة يلزم تحديد كلا منما ياتي طبقا للاشتراطات المطلوبة فيمقاومة الخرسانة المتصلدةوالاشتراطات المطلوبة في مدى تشغيل الخرسانة الطازجة :

1- كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة .

2- نسبة الماء الى الاسمنت بالوزن (م/س) او كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة

3- نسبة الركام الصغير الى الركام الكبير في الركام المستخدم .

4- الوزن النوعي للاسمنت والركام الكبير والركام الصغير .

وتحدد البيانات سالفة الذكر من واقع الخبرة ومن النتائج العملية ومن الاختبارات المعملية اي اننا نحدد قيمة C, W /C, G/S وكذلك نحدد الأوزان النوعية cG, Gs Gg ثم نطبق المعادلة سالفة الذكر لتعيين وزن كل من الرمل والحصى . واذا اريد بيان النسب بين المكونات الحبيبية للخرسانة بالوزن للاسمنت وبالحجم للركام يلزم معرفة الوزن الحجمي لكل من الرمل والزلط (اي وزن التر المكعب)وذلك من واقع الخبرة والتجارب .

وتتضح تلك الطريقة في المثال التالي :

المطلوب تصميم خلطه خرسانية بحيث تكون الخرسانة الطازجة لدنة القوام بحيث تكون الخرسانة المتصلدة ذات مقاومة للضغط بعد28 يوم تساوي 240 كغم/سم 2 . مع مراعاة ان ركام الخليط المستخدم يمر منه نسبة 40 % من المنخل القياسي 16/3 مع العلم بان:

الوزن النوعي للاسمنت =3,15

الوزن النوعي للركام (الرمل او الحصى)=2,65.

الوزن الحجمي للركام (الرمل او الحصى)= 1700كغم /سم 3 .

<u>الحل</u>

أ- تعين نسبة الركام الصغير (الرمل)الى الركام الكبير (الحصى):

يعتبر المار من المنخل القياسي 16/3هو الرمل والمحتجز عليه هو الحصى .اذن يتبين ان النسبة المئوية للرمل في الركام الخليط تساوي 40%وبالتالي الحصى يساوي 60%. ملاحظة :هذه النسبة قد تفرض طبقا للخبرة والسوابق العملية – والنسبة الشائعة الاستخدام قد تفرض مباشرة على اساس 33% للرمل اي نسبة الرمل الى الحصى تساوي 2:1

ب- تفرض كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة على اساس مقاومة الخرسانة المتصلدة بعد 28 يوم او على اساس اي متطلبات اخرى خاصة بمتانة الخرسانة او الظروف التي تعمل فيها .

ومن الخبرة العملية يمكن استخدام هذه العلاقة :

كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب =مقاومة الضغط بعد 28 يوم (كغم /سم مربع) +50 الى 100

اذن كمية الاسمنت اللازمة للمتر المكعب =240 +60 =300 كغم/م مكعب

ج- تعين كمية الماء اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة طبقا لمحتوى الاسمنت في الخلطة والمقاس الاعتباري للركام المستخدم وكذلك درجة القابلية للتشغيل المطلوبة .وهذه الكمية قد تفرض مباشرة طبقا للخبرة او بالاستعانة بالجدول الموضح في ادناه

في هذا المثال نفرض ان (م/س)=0,5
اذن كمية الماء للمتر المكعب من الخرسانة =150 لتر.

جدول يبين العلاقة بين كمية ماء الخلط ومحتوى الأسمنت

المقياس الاعتباري الأكبر للركام (ملم)	قيمة (م\س) لمحتوى الأسمنت (كغم) لكل متر مكعب خرسانة				
	200	250	300	350	400
10	0.70	0.60	0.50	0.475	0.40
20	0.65	0.55	0.45	0.425	0.385
40	0.61	0.48	0.425	0.385	0.37

د – يحسب تصميم الخلطة الخرسانية كما يلي :

وزن الحصى = (60\40) وزن الرمل = 1.5 وزن الرمل

Absolute Volume = 300/3.15+S/2.65+1.5S/2.65+150/1.0 =1000 Liters

وزن الرمل = 800 كغم

وزن الحصى = 1200 كغم

نسب الخلطة الخرسانية بالوزن : -

-

اسمنت	رمل	حصى	ماء
300 كغم	800كغم	1200كغم	150 كغم
1	2.67	4	0.5

نسبة الخلطة الخرسانية بالحجم :-

اسمنت	رمل	حصى	ماء
50\300	800\1700 م3	1200\1700 م3	150 لتر
6 اكياس	0.47 م3	0.71 م3	150 لتر

وهنا لابد من الأشارة الى ان تعيين نسبة الرمل الى الحصى يمكن ان يتم تحديدها على اسس اخرى هامة منها :-

1- طريقة الكثافة القصوى :-

وفيها يتم عمل خلطات من الركام الجاف فقط تحتوي على نسبا مختلفة من الرمل الى الحصى فمثلا : 0% , 10% , 20% , 30% , 40% .... 100 % مع تعيين وحدة الوزن لكل منها ثم نرسم القراءات على منحنى ويمكن من هذا المنحنى ايجاد نسبة الرمل التي ستكون عندها وحدة الوزن نهاية قصوى اي الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة .

2- طريقة المساحة السطحية للركام :-

الأساس العلمي في هذه الطريقة هو الربط بين كمية عجينة الأسمنت في الخلطة الخرسانية والمساحة السطحية للركام الذي تغلف اسطحه لأتمام عملية الألتصاق بين حبيباته ومعنى ذلك بانه في الخلطات الخرسانية ذات الركام الصغير المقاس فانه يحتاج لزيادة كمية الأسمنت بسبب زيادة المساحة السطحية لهذا الركام . واحدى طرق التعبير المذكورة هي استخدام المساحة السطحية للركام الخليط ومقاومة الضغط للخرسانة وذلك بمعرفة مقاومة الضغط المطلوبة للخرسانة أو قد تفرض المساحة السطحية للركام الخليط بقيمة تتراوح من 24 الى 26 سم2\غم التي تعطي غالبا اكبر قيمة للمقاومة . وبالتالي نحدد التدرج المطلوب أو نسبة الرمل في الركام الشامل .

4- تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة

الخلطات الخرسانية عالية المقاومة تتميز بوجود عدد كبير من المواد التي ينبغي اختيار الكميات والنسب المثلى منها للوصول الى خرسانة ذات خواص مرغوبة خاصة من ناحية القابلية للتشغيل والمقاومة (المتانة) . وتصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة يعتمد على نوعية وجودة

المواد بدرجة أكبر من اعتماده على نسب الخلطة .وفيما يلي شرح موجز لخطوات تصميم الخلطات الخرسانية عالية المقاومة .

1- يتم تقرير استخدام غبار السليكا في الحالات الأتية :-

- اذا كانت المقاومة المطلوبة أكبر من 800 كغم\ سم2

- عندما تكون الخرسانة قليلة النفاذية ضرورية ومرغوبة .

- في حالة خرسانة الضخ حتى لايحدث انفصال حبيبي .

- عندما تكون الخرسانة معرضة لمواد كيميائية خاصة الكلوريدات .

2- يمكن فرض محتوى غبار السليكا طبقا لمقاومة الضغط المطلوبة كما هو موضح بالجدول الاتي

مقاومة الضغط للخرسانة كغم \سم2	نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الاسمنت
700 الى 800	5% الى 10%
800 الى 900	10% الى 15 %
900 الى 1000	15 % الى 20 %
أكبر من 1000	20 % الى 25 %

ويفضل أخذ الحد الأعلى لنسبة غبار السليكا عندما يكون الحصى هو المستخدم في الخلطة أما في حالة استخدام الدولوميت أو الكرانيت فيفضل أخذ الحد اللأدنى لنسبة غبار السليكا .

3- كيف يتم تحديد نوع الاسمنت المستخدم :-

يتم تحديد نوع الأسمنت المستخدم طبقا لتقرير التربة الخاص بالعملية أو اللوائح التنفيذية للمنشأ وعادة مايكون اما اسمنت بورتلاندي عادي أو اسمنت بورتلاندي فائق النعومة او اسمنت مقاوم للكبريتات . وبصفة عامة فان كفاءة مادة غبار السليكا تكون أكبر في حالة استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي بالمقارنة بباقي أنواع الأسمنت . ولاينصح باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات الا في حالة وجود نسبة عالية من أملاح الكبريتات في التربة أو في المياه الجوفية . أما في الأحوال العادية أو الأحوال التي تكون فيها مقاومة الكلوريدات أهم من مقاومة الكبريتات فينصح باستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي .

4- يحدد محتوى الأسمنت البورتلاندي في المتر المكعب خرسانة طبقا لمحتوى غبار السليكا المستخدم كما يلي :-

محتوى الأسمنت كغم \ م3	نسبة غبار السليكا المضاف كنسبة من وزن الأسمنت
450	15% الى 20 %
475	5% الى 15 %
500	عدم وجود غبار السليكا

5- يتم اختيار نوع الملدنات بحيث يكون من النوع المطابق للمواصفات الأمريكية

ASTM C494 Type F

وفي حالة الحرارة الشديدة او في حالة طول مدة صب وصناعة الخرسانة فيفضل نوع الملدنات المطابق للمواصفات الامريكية ASTM C494 Type G

6- يمكن فرض نسبة الملدنات طبقا لمقاومة الضغط المطلوبة وذلك بعد عمل اختبار تاكيدي على خلطة تجريبية صغيرة للتاكد من توافق المادة مع الاسمنت المستخدم والحصول على المقاومة والقابلية للتشغيل المطلوبتين .

نسبة الملدنات كنسبة من وزن الاسمنت +غبار السليكا	مقاومة الضغط للخرسانة كج /سم 2
1,0 الى 1,5 %	400الى 500
1,5 الى 2,0 %	500 الى 600
2,0 الى 2,5 %	600 الى 700
2,5الى3,5 %	اكبر من 700

7- يتم استخدام الحصى كركام كبير في الخلطة الخرسانية اذا كانت مقاومة الضغط المطلوبة لا تتجاوز 750 او 800 كغم /سم2 وفي حالة خرسانة ذات مقاومة اكبر من ذلك فمن الضروري استخدام كسر حجر قوي (دولوميت او جرانيت)

8- يفضل ان لا يزيد المقاس الاعتباري الاكبر للركام الكبير عن 20مم والركام مقاس 14 مم او حتى 10 مم يعطي مقاومة افضل بشرط ان يكون الركام متدرج وسليم وقوي .وتفرض النسبة بين الركام الكبير والرمل وفقا لاي طريقة كما في حالة الخرسانة التقليدية (عادية المقاومة).

9- تفرض نسبة الماء الى المواد الاسمنتية (اسمنت + غبار سليكا)من المعادلة التجريبية الاتية مع مراعاة ان لا يقل وزن الماء عن 0,22من وزن المواد الاسمنتية .علما بان هذه المعادلة مستنتجة على اساس خرسانة تحتوي على ملدنات وتعطي خلطة لدنة القوام (هبوط =8 الى 12سم).وقد تم استنتاج هذه المعادلة بتحليل نتائج اكثر من 150 خلطة خرسانية ذات مقاومة تتراوح من 500 الى 1100 كغم /سم2 .

W/ cm =log { α(1000- C – SF) / fc } / 3 * log (β)

حيث :

w/cm	**النسبة بين وزن الماء ووزن المواد الاسمنتية (الاسمنت +غبار السليكا)**
fc	**هي مقاومة الخرسانة كغم/سم2**
C	**هي وزن الاسمنت في المتر المكعب من الخرسانة – كغم**
SF	**هي وزن غبار السليكا في المتر المكعب من الخرسانة – كغم**
α	**عامل يتوقف على نوع الركام الكبير المستخدم ويساوي 13 , 14 ,15 للحصى والجرانيت والدولوميت على الترتيب .**
β	**عامل يتوقف على نوع الاسمنت ويساوي 13,0 , 12 ,10,5 للاسمنت البورتلاندي العادي والاسمنت المقاوم للكبريتات والاسمنت فائق النعومة على الترتيب .**

والجدول الاتي يعطي بعض القيم لنسبة الماء الى المواد الاسمنتية وذلك لتحقيق مقاومة ضغط بعد 28 يوم = 1000 كغم/سم2 باستخدام محتوى اسمنت = 475 كغم /م3 .

المقاومة المطلوبة = 1000 كغم/سم2 محتوى الأسمنت = 475 كغم/م3		**غبار السليكا كنسبة مئوية من وزن الأسمنت**				
		% 5	**%10**	**%15**	**%20**	**%25**
اسمنت بورتلاندي عادي	**حصى**	**0.244**	**0.237**	**0.231**	**0.224**	**0.216**
اسمنت مقاوم للكبريتات	**حصى**	**0.251**	**0.245**	**0.238**	**0.231**	**0.223**
اسمنت فائق النعومة	**حصى**	**0.266**	**0.259**	**0.251**	**0.244**	**0.236**
اسمنت بورتلاندي عادي	**دولوميت**	**0.262**	**0.256**	**0.249**	**0.242**	**0.235**
اسمنت مقاوم للكبريتات	**دولوميت**	**0.271**	**0.264**	**0.257**	**0.250**	**0.242**
اسمنت فائق النعومة	**دولوميت**	**0.286**	**0.279**	**0.272**	**0.264**	**0.256**

10- يتم تطبيق معادلة الحجم المطلق بنفس الطريقة المتبعة سابقا في حالة الخرسانة عادية المقاومة وذلك لحساب اوزان المكونات المختلفة في المتر المكعب من الخرسانة مع مراعاة فرض قيم الاوزان النوعية للمواد المختلفة اذا لم تتوافر بيانات عنها كما يلي :-

الاسمنت = 3,15 غبار السليكا = 2,15 الملدنات = 1,15

الحصى والرمل =2,65 الدولوميت = 2,7 الجرانيت = 2,7

مثال:

المطلوب تصميم خلطة خرسانية عالية المقاومة وتحديد الكميات اللازمة لعمل واحد متر مكعب من الخرسانة اذا علم ان :

- مقاومة الضغط المطلوبة = 800كج /سم مربع

-الهبوط باستخدام المخروط القياسي = 10 سم

- نوع الاسمنت المستخدم هو اسمنت مقاوم للكبريتات

- الركام المستخدم عبارة عن رمل طبيعي حرش ودولوميت مقاس 14مم, والتدرج الحبيبي لكل من الرمل والدولوميت كما يلي :

فتحة المنخل -مم	20	10	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15
دولوميت	100	85	6	-	-	-	-	-
رمل	-	100	94	80	65	50	10	0

تصميم الخلطة

1- نسبة غبار السليكا المناظر لمقاومة

800 كغم /سم2 مع استخدام الدولوميت = 10% من وزن الاسمنت .

2 – محتوى الاسمنت المناظر لنسبة 10% من غبار السليكا = 475 كغم /م3 .

اذن وزن غبار السليكا = 475× 10% =47,5 كغم/م3

3 – نسبة الملدنات المطلوبة = 3% من وزن المواد الاسمنتية وتكون من النوع

ASTM – Type G

اذن وزن الملدنات في المتر المكعب = 0,03×(47,5+475) =15,675 كغم

4- بتطبيق معادلة w / cm مع مراعاة ان قيمة α =15 وقيمة

β=12نحصل على نسبة الماء الى المواد الاسمنتية = 0,294

وزن الماء في المتر المكعب =0,294 (47,5+475)= 153,6 كغم

5– يتم خلط الركام الكبير مع الركام الصغير بحيث يحقق ان 30%من وزن الركام الخليط يمر خلال المنخل رقم 4,75.اذن باستخدام النتائج في جدول التدرج نجد ان :

0,94 وزن الرمل +0,06 وزن الدولوميت = 0,30(وزن الرمل + وزن الدولوميت)

اذن وزن الرمل = 0,375 وزن الدولوميت .

6 – بتطبيق معادلة الحجم المطلق :

4.75/3.15+47.5/2.15+0.375W/2.65+W/2.7+15.675/1.15+153.6/1 = 1000

حيث W هي وزن الدولوميت.

بحل المعادلة نحصل على وزن الدولوميت = 1289 كغم

اذن وزن الرمل = 1289× 0,375 = 483 كغم

7- ويكون وزن المكونات المختلفة اللازمة لعمل واحد متر مكعب خرسانة هي:

- وزن الاسمنت المقاوم للكبريتات = 475 كغم

- وزن غبار السليكا = 47,5 كغم

- وزن الدولوميت = 1289 كغم

- وزن الرمل = 483 كغم

- وزن الملدنات =15,675 كغم المطابق للمواصفات ASTM C494 Type G

- وزن الماء = 153,6 كغم

خلاصة البحث

خلال البحث تم تناول المكونات الأساسية للخلطات الخرسانية وكذلك تم التطرق وبأيجاز عن المضافات الخرسانية والغرض من استخدامها وبعد ذلك وفي الفصل الثاني تم التعرف على طرق تصميم الخلطات الخرسانية سواء من خلال النسب الوزنية او الحجمية او التجريبية .

ولكن هنا اود الأشارة الى انه ومن خلال الخبرات العملية وفي مشاريع مختلفة حيث يوجد هناك اساليب عديدة للعمل وفق تصاميم الخلطات الخرسانية المعتمدة والمتفق عليها مابين الشركات المنفذة والجهة الأستشارية التي تمثل المالك حيث يتم وحسب نوع المشروع ومواصفاته والمقاومة المطلوبة للخرسانة , وعلى هذا الأساس يتم العمل على تصميم خلطة خرسانية تحقق المقاومة المطلوبة بعد اعتماد مصادر الركام والأسمنت

وهذه الصيغة تكون في حالة قيام الشركة بعمل الخلطات وتجهيزها دون الأعتماد على معامل الخرسانة الجاهزة التي من المفروض ان تقوم هي بأعداد تصاميم الخلطات المطلوبة على حسب المقاومة , وتكون مسؤولة بصورة مباشرة على التجهيز للمشاريع وتتحمل كافة التكاليف في حالة عدم مطابقة الخرسانة المجهزة للمواصفات المطلوبة من حيث فحص الهطول المطلوب او فحص مقاومة الأنضغاط للخرسانة .

وواقع حال العمل لدينا ومن خلال الكثير من الملاحظات نجد حاليا قصور لايستهان به في هذه الجوانب حيث موضوع السيطرة على جودة الخرسانة المستخدمة ضعيف ونحن حاليا من خلال اشرافنا على بعض الأعمال نحاول جهدنا تطبيق المواصفات والأساليب الهندسية الصحيحة للوصول الى جودة مقبولة في العمل .

ونسال الله التوفيق والعون للجميع للأداء المخلص الصادق.

المهندس

باسل حمودي حمد

المصادر :-

1- الخرسانة .... أ.د محمود امام .

2- تصاميم المنشأت الخرسانية المسلحة .... د. جمال عبدالواحد فرحان .

3- ادارة وضبط الجودة لمشروعات الخرسانة المسلحة ... . د. محمد عبدالله الريدي .